



SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(PL)と液体(LQ)とを介して露光する露光ステーション(STE)と、他方の基板ステージ(PST2)又は該基板ステージ(PST2)に保持された基板(P)を計測する計測ステーション(STA)とを備え、計測ステーション(STA)での計測は、基板ステージ(PST2)上又は基板(P)上に液体(LQ)を配置した状態で行われる。

明 細 書

露光装置及び露光方法、デバイス製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、液体を介して基板を露光する露光装置及び露光方法、デバイス製造方法に関するものである。

本願は、2004年2月19日に出願された特願2004-42933号に対し優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスや液晶表示デバイスは、マスク上に形成されたパターンを感光性の基板上に転写する、いわゆるフォトリソグラフィの手法により製造される。このフォトリソグラフィ工程で使用する露光装置は、マスクを支持するマスクステージと基板を支持する基板ステージとを有し、マスクステージ及び基板ステージを逐次移動しながらマスクのパターンを投影光学系を介して基板に転写するものである。近年、デバイスパターンのより一層の高集積化に対応するために投影光学系の更なる高解像度化が望まれている。投影光学系の解像度は、使用する露光波長が短いほど、また投影光学系の開口数が高いほど高くなる。そのため、露光装置で使用する露光波長は年々短波長化しており、投影光学系の開口数も増大している。そして、現在主流の露光波長はKrFエキシマレーザの248nmであるが、更に短波長のArFエキシマレーザの193nmも実用化されつつある。

また、露光を行う際には、解像度と同様に焦点深度(DOF)も重要となる。解像度 R 、及び焦点深度 δ はそれぞれ以下の式で表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad \cdots (1)$$

$$\delta = \pm k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad \cdots (2)$$

ここで、 λ は露光波長、 NA は投影光学系の開口数、 k_1 、 k_2 はプロセス係数である。(1)式、(2)式より、解像度 R を高めるために、露光波長 λ を短くして、開口数 NA を大きくすると、焦点深度 δ が狭くなることが分かる。

[0003] 焦点深度 δ が狭くなり過ぎると、投影光学系の像面に対して基板表面を合致させる

ことが困難となり、露光動作時のフォーカスマージンが不足するおそれがある。そこで、実質的に露光波長を短くして、且つ焦点深度を広くする方法として、例えば下記特許文献1に開示されている液浸法が提案されている。この液浸法は、投影光学系の下面と基板表面との間を水や有機溶媒等の液体で満たして液浸領域を形成し、液体中での露光光の波長が空気中の $1/n$ (n は液体の屈折率で通常1.2〜1.6程度)になることを利用して解像度を向上するとともに、焦点深度を約 n 倍に拡大するというものである。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、下記パンフレットの開示を援用して本明細書の一部とする。

特許文献1: 国際公開第99/49504号パンフレット

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、近年において、基板を保持する基板ステージを2つ搭載したツインステージ型露光装置が登場している。このツインステージ型露光装置は、一方の基板ステージが露光動作を行っている間に他方の基板ステージで次の基板のアライメントやフォーカス計測などの計測処理を行って露光準備をする方式である。このツインステージ型露光装置に液浸法を適用した場合においても良好に計測処理できるようにすることが重要である。

[0005] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであって、ツインステージ型露光装置に液浸法を適用した場合においても良好に計測処理を行って精度良く露光処理できる露光装置及び露光方法、デバイス製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記の課題を解決するため、本発明は実施の形態に示す図1〜図7に対応付けした以下の構成を採用している。

本発明の露光装置(EX)は、液体(LQ)を介して基板(P)を露光する露光装置において、基板(P)を保持して移動可能な少なくとも2つの基板ステージ(PST1、PST2)と、一方の基板ステージ(PST1)に保持された基板(P)を光学系(PL)と液体(LQ)とを介して露光する露光ステーション(STE)と、他方の基板ステージ(PST2)又は該基板ステージ(PST2)に保持された基板(P)を計測する計測ステーション(STA)

とを備え、計測ステーション(STA)での計測は、基板ステージ(PST2)上又は基板(P)上に液体(LQ)を配置した状態で行われることを特徴とする。

また本発明のデバイス製造方法は、上記記載の露光装置(EX)を用いることを特徴とする。

[0007] 本発明によれば、露光ステーションでは液体を配置した液浸状態(ウェット状態)で露光処理を行い、計測ステーションで計測処理するときにおいても、液体を配置したウェット状態で計測処理することで、露光処理時とほぼ同じ条件のもとで計測処理を行うことができる。したがって、計測誤差の発生を抑制し、その計測結果に基づいて精度良く露光処理することができる。

[0008] 本発明の露光方法は、液体(LQ)を介して基板(P)を露光する露光方法において、計測ステーション(STA)で、基板ステージ(PST)又は該基板ステージ(PST)に保持された基板(P)を、その基板ステージ(PST)上又は基板(P)上に液体(LQ)を配置した状態で計測し、計測ステーション(STA)とは別の露光ステーション(STE)で、基板(P)を光学系(PL)と液体(LQ)とを介して露光することを特徴とする。

また本発明のデバイス製造方法は、上記記載の露光方法を用いることを特徴とする。

[0009] 本発明によれば、計測ステーションで計測処理を行うときに液体を配置したウェット状態とすることで、露光ステーションでの露光処理時とほぼ同じ条件のもとで計測ステーションでの計測処理を行うことができる。したがって、計測誤差の発生を抑制し、その計測結果に基づいて精度良く露光処理することができる。

また、本発明の異なる態様の露光装置(EX)は、液体(LQ)を介して基板(P)を露光する露光装置であって、基板(P)を保持して移動可能な少なくとも2つの基板ステージ(PST1、PST2)と、一方の基板ステージ(PST1)に保持された基板(P)を光学系(PL)と液体(LQ)とを介して露光する露光ステーション(STE)と、他方の基板ステージ(PST2)又は基板ステージ(PST2)に保持された基板(P)を計測する計測ステーション(STA)と、露光ステーション(STE)に位置する基板ステージ(PST1)に保持されている基板(P)上に液体を供給する第1の液体供給装置(10)と、計測ステーション(STA)に位置する基板ステージ(PST2)または基板ステージ(PST2)に保持

されている基板(P)上に液体(LQ)を供給する第2の液体供給装置(30)と、を備えている。

発明の効果

- [0010] 本発明によれば、露光ステーションでウェット状態で露光するとき、その露光時とほぼ同じウェット状態で計測ステーションにおいて計測するようにしたので、その計測結果に基づいて精度良く露光処理することができる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。
[図2]基板ステージを示す断面図である。
[図3]基板ステージを上方から見た平面図である。
[図4]本発明の露光方法の一実施形態を示すフローチャート図である。
[図5]基板上に配置される液体量に応じて基板の表面状態が変化する様子を説明するための模式図である。
[図6]液浸領域の位置に応じて基板の表面状態が変化する様子を説明するための模式図である。
[図7]半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャート図である。

符号の説明

- [0012] 1…アライメントマーク、2…光学素子、2A…液体接触面、10…第1液体供給機構、20…第1液体回収機構、30…第2液体供給機構、40…第2液体回収機構、82…基板アライメント系(第1マーク検出系)、83…光学部材(ダミー部材)、83A…液体接触面、84…マスクアライメント系(第2マーク検出系)、64(64A～64C)…荷重センサ(計測器)、70…フォーカス・レベリング検出系(面検出系)、AR1…投影領域、AR2、AR2'…液浸領域、EX…露光装置、LQ…液体、MFM…基準マーク、P…基板、PFM…基準マーク、PL…投影光学系、PST(PST1、PST2)…基板ステージ、S1～S24…ショット領域、STA…計測ステーション、STE…露光ステーション

発明を実施するための最良の形態

- [0013] 以下、本発明の露光装置について図面を参照しながら説明する。図1は本発明の

露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

- [0014] 図1において、露光装置EXは、基板Pを保持して移動可能な基板ステージを2つ搭載したツインステージ型露光装置であって、共通のベースBP上を各々独立に移動可能な第1基板ステージPST1及び第2基板ステージPST2を備えている。また、ツインステージ型露光装置EXは、第1基板ステージPST1(又は第2基板ステージPST2)に保持された基板Pを投影光学系PLと液体LQとを介して露光する露光ステーションSTEと、第2基板ステージPST2(又は第1基板ステージPST1)あるいはこの基板ステージPST2(PST1)に保持された基板Pを計測する計測ステーションSTAとを備えている。
- [0015] 第1基板ステージPST1と第2基板ステージPST2とが移動することにより、露光ステーションSTEと計測ステーションSTAとの間で第1基板ステージPST1と第2基板ステージPST2とが交換可能である。なお、計測ステーションSTAにおいては、基板ステージPST1(PST2)に対する基板Pの搬入(ロード)及び搬出(アンロード)が行われる。つまり計測ステーションSTAにおいて基板Pの交換が行われる。そして、露光ステーションSTEに配置された一方の基板ステージPST1(PST2)上の基板Pに対する露光中に、計測ステーションSTAに配置された他方の基板ステージPST2(PST1)あるいはこの基板ステージ上の基板Pに対する計測が行われる。そして、計測ステーションSTAで計測処理を終えた基板Pを保持した基板ステージPST2(PST1)は、露光ステーションSTEに移動される。そして、露光ステーションSTEにおいて、基板ステージPST2(PST1)上の基板Pが露光される。一方、露光ステーションSTEにおいて露光処理を終えた基板Pを保持した基板ステージPST1(PST2)は、計測ステーションSTAに移動される。計測ステーションSTAに移動された露光処理済みの基板Pは基板ステージPST1(PST2)よりアンロードされる。そして、新たな基板(未露光基板)Pが基板ステージPST1(PST2)にロードされ、計測される。また、露光ステーションSTE及び計測ステーションSTAを含む露光装置EX全体の動作は制御装置CONTによって統括制御される。そのため、制御装置CONTは、露光装置EXの各種測定手段(例えば、XY干渉計51、Z干渉計58、フォーカス・レベリング検出系70、荷重センサ64A〜64C)や駆動装置(例えば、マスクステージ駆動装置、基板ス

テージ駆動装置、Zチルトステージ52)等に接続されており、それらとの間で測定結果や駆動指令の伝達が可能なように構成されている。

[0016] 露光ステーションSTEには、マスクMを支持するマスクステージMSTと、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明する照明光学系ILと、露光光ELで照明されたマスクMのパターン像を基板ステージPST1 (PST2)に支持されている基板Pに投影露光する投影光学系PLとが設けられている。

[0017] 本実施形態の露光装置EXは、露光波長を実質的に短くして解像度を向上するとともに焦点深度を実質的に広くするために液浸法を適用した液浸露光装置である。露光ステーションSTEには、基板P上に液体LQを供給する第1液体供給機構10と、基板P上の液体LQを回収する第1液体回収機構20とが設けられている。露光装置EXは、少なくともマスクMのパターン像を基板P上に転写している間、第1液体供給機構10から供給した液体LQにより投影光学系PLの投影領域AR1を含む基板P上の一部に(局所的に)液浸領域AR2を形成する。具体的には、露光装置EXは、投影光学系PLの像面側先端部の光学素子2と、その像面側に配置された基板P表面との間に液体LQを満たす局所液浸方式を採用している。そして、露光装置EXは、投影光学系PLと基板Pとの間の液体LQ及び投影光学系PLを介してマスクMを通過した露光光ELを基板Pに照射することによってマスクMのパターンを基板Pに投影露光する。

[0018] また、計測ステーションSTAにも、第1液体供給機構10とほぼ同等の構成を有する第2液体供給機構30と、第1液体回収機構20とほぼ同等の構成を有する第2液体回収機構40とが設けられている。

[0019] 本実施形態では、露光装置EXとしてマスクMと基板Pとを走査方向における互いに異なる向き(逆方向)に同期移動しつつマスクMに形成されたパターンを基板Pに露光する走査型露光装置(所謂スキャニングステッパ)を使用する場合を例にして説明する。以下の説明において、投影光学系PLの光軸AXと一致する方向をZ軸方向、Z軸方向に垂直な平面内でマスクMと基板Pとの同期移動方向(走査方向)をX軸方向、Z軸方向及びX軸方向に垂直な方向(非走査方向)をY軸方向とする。また、X軸、Y軸、及びZ軸まわりの回転(傾斜)方向をそれぞれ、 θX 、 θY 、及び θZ 方向と

する。なお、ここでいう「基板」は半導体ウエハ上に感光性材料であるフォトリソを塗布したものを含み、「マスク」は基板上に縮小投影されるデバイスパターンを形成されたレチクルを含む。

[0020] 照明光学系ILは、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明するものであり、露光用光源、露光用光源から射出された光束の照度を均一化するオプティカルインテグレータ、オプティカルインテグレータからの露光光ELを集光するコンデンサレンズ、リレーレンズ系、露光光ELによるマスクM上の照明領域をスリット状に設定する可変視野絞り等を有している。マスクM上の所定の照明領域は照明光学系ILにより均一な照度分布の露光光ELで照明される。照明光学系ILから射出される露光光ELとしては、例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線(g線、h線、i線)及びKrFエキシマレーザー光(波長248nm)等の遠紫外光(DUV光)や、ArFエキシマレーザー光(波長193nm)及びF₂レーザー光(波長157nm)等の真空紫外光(VUV光)などが用いられる。本実施形態においてはArFエキシマレーザー光が用いられる。

[0021] マスクステージMSTは、マスクMを支持するものであって、投影光学系PLの光軸AXに垂直な平面内、すなわちXY平面内で2次元移動可能及び θ Z方向に微小回転可能である。マスクステージMSTはリニアモータ等のマスクステージ駆動装置により駆動される。マスクステージ駆動装置は制御装置CONTにより制御される。マスクステージMST上には移動鏡50が設けられている。また、移動鏡50に対向する位置にはレーザー干渉計からなるXY干渉計51が設けられている。マスクステージMST上のマスクMの2次元方向の位置、及び回転角はXY干渉計51によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTは、XY干渉計51及び前記マスクステージ駆動装置に接続されており、XY干渉計51の計測結果に基づいてマスクステージ駆動装置を駆動することでマスクステージMSTに支持されているマスクMの位置決めを行う。

[0022] 投影光学系PLは、マスクMのパターンを所定の投影倍率 β で基板Pに投影露光するものであって、基板P側(投影光学系PLの像面側)の終端部に設けられた光学素子(レンズ)2を含む複数の光学素子で構成されており、これら光学素子は鏡筒PK

で支持されている。本実施形態において、投影光学系PLは、投影倍率 β が例えば1/4あるいは1/5の縮小系である。なお、投影光学系PLは等倍系及び拡大系のいずれでもよい。また、本実施形態の投影光学系PLの先端部の光学素子(レンズ)2は鏡筒PKに対して着脱(交換)可能に設けられており、光学素子2には液浸領域AR2の液体LQが接触する。

[0023] 本実施形態において、液体LQには純水が用いられる。純水はArFエキシマレーザ光のみならず、例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線(g線、h線、i線)及びKrFエキシマレーザ光(波長248nm)等の遠紫外光(DUV光)も透過可能である。

なお、本実施形態においては、液浸露光用の純水を適用した投影光学系の開口数は1以上(1.0〜1.2程度)に設定されている。

[0024] 光学素子2は螢石で形成されている。螢石表面、あるいは MgF_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 等を付着させた表面は水との親和性が高いので、光学素子2の液体接触面2Aのほぼ全面に液体LQを密着させることができる。すなわち、本実施形態においては光学素子2の液体接触面2Aとの親和性が高い液体(水)LQを供給するようにしているので、光学素子2の液体接触面2Aと液体LQとの密着性が高く、光学素子2と基板Pとの間の光路を液体LQで確実に満たすことができる。なお、光学素子2は水との親和性が高い石英であってもよい。また光学素子2の液体接触面2Aに親水(親液)処理を施して、液体LQとの親和性をより高めるようにしてもよい。

[0025] 以下、基板Pを保持して移動可能な基板ステージPST(PST1、PST2)について説明する。ここで、第1基板ステージPST1と第2基板ステージPST2とは同等の構成を有しているため、第1基板ステージPST1と第2基板ステージPST2とを総称して適宜「基板ステージPST」として説明する。

[0026] 基板ステージPSTは、基板Pを保持して移動可能であって、基板Pを基板ホルダPHを介して保持するZチルトステージ52と、Zチルトステージ52を支持するXYステージ53とを備えている。XYステージ53(基板ステージPST)はベースBP上を移動可能であり、少なくとも露光ステーションSTEと計測ステーションSTAとの間を移動可能である。

- [0027] 基板ステージPSTはリニアモータ等の基板ステージ駆動装置により駆動される。基板ステージ駆動装置は制御装置CONTにより制御される。Zチルトステージ52を駆動することにより、Zチルトステージ52に保持されている基板PのZ軸方向における位置(フォーカス位置)、及び θX 、 θY 方向における位置が制御される。また、XYステージ53を駆動することにより、基板PのXY方向における位置(投影光学系PLの像面と実質的に平行な方向の位置)、及び θZ 方向における位置が制御される。すなわち、Zチルトステージ52は、基板Pのフォーカス位置及び傾斜角を制御して基板Pの表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系PLの像面に合わせ込み、XYステージ53は基板PのXY平面内における位置決め(X、Y、 θZ 方向)を行う。なお、Zチルトステージ52とXYステージ53とを一体的に設けてよいことは言うまでもない。
- [0028] 基板ステージPST(Zチルトステージ52)上にはXY移動鏡55が設けられている。また、XY移動鏡55に対向する位置にはレーザ干渉計からなるXY干渉計56が設けられている。基板ステージPST(ひいては基板P)の2次元方向の位置、及び回転角(X、Y、及び θZ 方向に関する位置情報)はXY干渉計56によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTは、XY干渉計56及び前記基板ステージ駆動装置に接続されており、XY干渉計56の計測結果に基づいて基板ステージ駆動装置を駆動することで基板Pを保持した基板ステージPSTの位置決めを行う。
- [0029] 基板ステージPSTのXY方向の位置、及び回転角を計測可能なXY干渉計56は、露光ステーションSTE及び計測ステーションSTAのそれぞれに設けられている。したがって、露光ステーションSTEに設けられているXY干渉計56は露光ステーションSTEに配置された基板ステージPST1(PST2)の位置計測を行うことができ、計測ステーションSTAに設けられているXY干渉計56は計測ステーションSTAに配置された基板ステージPST2(PST1)の位置計測を行うことができる。
- [0030] また、基板ステージPST1のZチルトステージ52の側面にはZ移動鏡57が設けられ、Z移動鏡57に対向する位置にはZ干渉計58が設けられている。Z干渉計58は露光ステーションSTE及び計測ステーションSTAのそれぞれに設けられている。Z干渉計

58は基板ステージPST、具其他的にはZチルトステージ52のZ軸方向の位置を計測する。

[0031] 露光ステーションSTE及び計測ステーションSTAのそれぞれには、基板ステージPSTに保持されている基板Pの表面の位置情報を検出する面検出系としてのフォーカス・レベリング検出系70が設けられている。フォーカス・レベリング検出系70は、基板Pに傾斜方向から検出光を照射する投光部70Aと、基板Pで反射した検出光(反射光)を受光する受光部70Bとを備えている。なお、フォーカス・レベリング検出系70の構成としては、例えば特開平8-37149号公報に開示されているものを用いることができる。フォーカス・レベリング検出系70の検出結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTはフォーカス・レベリング検出系70の検出結果に基づいて、基板P表面のZ軸方向の位置情報、及び基板Pの θ X及び θ Y方向の傾斜情報を検出することができる。制御装置CONTは、フォーカス・レベリング検出系70及びZチルトステージ52に接続されており、フォーカス・レベリング検出系70の検出結果に基づいてZチルトステージ52を駆動し、Zチルトステージ52に保持されている基板PのZ軸方向における位置(フォーカス位置)及び傾斜角を調整することにより、基板Pの表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で、投影光学系PLと液体LQとを介して形成される像面に合わせ込む。

[0032] 図2は基板ステージPST(PST1、PST2)を示す拡大断面図である。基板ステージPSTのZチルトステージ52上には凹部60が設けられており、基板ホルダPHは凹部60に配置されている。そして、Zチルトステージ52のうち凹部60以外の上面61は、基板ホルダPHに保持された基板Pの表面とほぼ同じ高さ(面一)になるような平坦面(平坦部)となっている。基板Pの周囲に基板P表面とほぼ面一の上面61を設けたので、基板Pのエッジ領域Eを液浸露光するときにおいても、投影光学系PLの像面側に液体LQを保持して液浸領域AR2を良好に形成することができる。また、基板Pのエッジ部とその基板Pの周囲に設けられた上面61との間には0.1〜2mm程度の隙間があるが、液体LQの表面張力によりその隙間に液体LQが流れ込むことはほとんどなく、基板Pの周縁近傍を露光する場合にも、上面61により投影光学系PLの下に液体LQを保持することができる。

- [0033] また、上面61を撥液性にすることにより、液浸露光中における基板P外側（上面61外側）への液体LQの流出を抑え、また液浸露光後においても液体LQを円滑に回収できて、上面61上などに液体LQが残留することを防止することができる。なお、上面61を撥液性にするための撥液処理としては、例えば、ポリ四フッ化エチレン等のフッ素系樹脂材料あるいはアクリル系樹脂材料等の撥液性材料を塗布、あるいは前記撥液性材料からなる薄膜を貼付することができる。また、撥液性にするための撥液性材料としては液体LQに対して非溶解性の材料が用いられる。
- [0034] 基板ホルダPHの下面と、Zチルトステージ52のうち凹部60の底面62との間には、複数の荷重センサ64（64A～64C）が設けられている。本実施形態において、荷重センサ64は3つ設けられており、例えばロードセルで構成されている。荷重センサ64A～64Cは、基板Pに加わる力を基板ホルダPHを介して計測する。荷重センサ64の計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTは、荷重センサ64A～64Cに接続されており、荷重センサ64A～64Cの出力に基づいて、基板Pに加わる力、及びその力の分布を求めることができる。なお、荷重センサをZチルトステージ52の下にも設けておき、Zチルトステージ52に加わる力を計測するようにしてもよい。こうすることにより、例えばZチルトステージ52の上面61に加わる力を荷重センサで計測することができる。また、荷重センサ64A～64Cを基板ホルダPHの下面には設けずに、Zチルトステージ52の下のみにも設けてもよい。
- [0035] 図1に戻って、第1液体供給機構10は、投影光学系PLと基板Pとの間に液体LQを供給するものであって、液体LQを収容するタンク、及び加圧ポンプなどを備えた液体供給装置11と、液体供給装置11にその一端部接続し、他端部を供給ノズル14に接続した供給管13とを備えている。供給ノズル14は基板Pに近接して配置された供給口12を有しており、基板Pの上方から液体LQを供給する。液体供給装置11より送出され、供給管13及び供給ノズル14の供給口12を介して基板P上に供給された液体LQは、投影光学系PLの先端部の光学素子2と基板Pとの間の空間を満たして液浸領域AR2を形成する。
- [0036] 第1液体回収機構20は、基板P上の液体LQを回収するものであって、真空ポンプ等の真空系、気液分離器、及び回収した液体LQを収容するタンクなどを備えた液体

回収装置21と、液体回収装置21にその一端部を接続し、他端部を回収ノズル24に接続した回収管23とを備えている。回収ノズル24は基板Pに近接して配置された回収口22を有しており、基板P上の液体LQを回収可能である。液体回収装置21の真空系を駆動することにより、基板P上の液体LQは、回収ノズル24の回収口22及び回収管23を介して液体回収装置21に吸引回収される。

[0037] 制御装置CONTは、基板P上に液体LQの液浸領域AR2を形成する際、第1液体供給機構10の液体供給装置11を駆動し、供給管13及び供給ノズル14の供給口12を介して基板P上に対して単位時間当たり所定量の液体LQを供給するとともに、第1液体回収機構20の液体回収装置21を駆動し、回収ノズル24の回収口22及び回収管23を介して単位時間当たり所定量の液体LQを基板P上より回収する。これにより、投影光学系PLの先端部の光学素子2と基板Pとの間の空間に液体LQが配置され、液浸領域AR2が形成される。

[0038] 計測ステーションSTAには、基板P上のアライメントマークあるいはZチルトステージ52上に設けられた基準マークPFM(後述)を検出する基板アライメント系82が設けられている。また、露光ステーションSTEのマスクステージMSTの近傍には、マスクMと投影光学系PLとを介してZチルトステージ52上の基準マークMFM(後述)を検出するマスクアライメント系84が設けられている。なお、基板アライメント系82の構成としては、例えば特開平4-65603号公報に開示されているものを用いることができ、マスクアライメント系84の構成としては、例えば特開平7-176468号公報及びこれに対応する米国特許5,646,413号に記載されている。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記公報または米国特許における開示を援用して本明細書の一部とする。

[0039] 計測ステーションSTAには、投影光学系PLの先端部の光学素子2の液体接触面2Aとほぼ等しい液体接触面83Aを有する光学部材83が設けられている。本実施形態において、光学部材83は基板アライメント系82の光学系の一部を構成しており、基板ステージPST上の基板Pに対向するように設けられている。

[0040] また、計測ステーションSTAには、光学部材83と基板Pとの間に液体LQを供給する第2液体供給機構30と、基板P上の液体LQを回収する第2液体回収機構40とが

設けられている。上述したように、第2液体供給機構30及び第2液体回収機構40は、露光ステーションSTEに設けられた第1液体供給機構10及び第1液体回収機構20とほぼ同等の構成を有している。すなわち、第2液体供給機構30は、液体LQを収容するタンク、及び加圧ポンプなどを備えた液体供給装置31と、液体供給装置31にその一端部接続し、他端部を供給ノズル34に接続した供給管33とを備えている。供給ノズル34は基板Pに近接して配置された供給口32を有しており、基板Pの上方から液体LQを供給する。液体供給装置31より送出され、供給管33及び供給ノズル34の供給口32を介して基板P上に供給された液体LQは、光学部材83と基板Pとの間の空間を満たして液浸領域AR2'を形成する。

[0041] 第2液体回収機構40は、基板P上の液体LQを回収するものであって、真空ポンプ等の真空系、気液分離器、及び回収した液体LQを収容するタンクなどを備えた液体回収装置41と、液体回収装置41にその一端部を接続し、他端部を回収ノズル44に接続した回収管43とを備えている。回収ノズル44は基板Pに近接して配置された回収口42を有しており、基板P上の液体LQを回収可能である。液体回収装置41の真空系を駆動することにより、基板P上の液体LQは、回収ノズル44の回収口42及び回収管43を介して液体回収装置41に吸引回収される。

[0042] 光学部材83(液体接触面83A)の大きさ及び形状は、投影光学系PLの光学素子2(液体接触面2A)とほぼ同じに設けられている。また、液体接触面83Aの表面状態と液体接触面2Aの表面状態ともほぼ同じに設けられている。具体的には液体接触面83Aの液体LQに対する親和性(接触角)と、液体接触面2Aの液体LQに対する親和性(接触角)とはほぼ同じである。また、基板ステージPST上の基板P表面(又は上面61)と液体接触面2Aとの距離(ワーキングディスタンス)と、基板ステージPST上の基板P表面(又は上面61)と液体接触面83Aとの距離もほぼ同じに設けられている。

[0043] これにより、制御装置CONTは、露光ステーションSTEにおいて形成される液浸領域AR2と、計測ステーションSTAにおいて形成される液浸領域AR2'とをほぼ同じ状態で形成することができる。したがって、露光ステーションSTEにおいて液体LQが基板P(又は基板ステージPST)に及ぼす力と、計測ステーションSTAにおいて液体

LQが基板P(又は基板ステージPST)に及ぼす力とをほぼ同じにすることができる。

ここで、液体LQが基板Pに及ぼす力とは、液体LQの自重、液体LQの圧力、基板Pと液体接触面2A、83Aとの間に液体LQを満たした状態で基板Pが移動したときの、その液体LQが基板Pに及ぼす剪断力などが挙げられる。

[0044] なお、本実施形態においては、光学部材83は基板アライメント系82の一部を構成しているが、基板アライメント系82と独立して設けられ、光学部材83のみが所定の支持部材で支持された構成であってもよい。また、光学部材83は光透過性を有していなくてもよい。つまり、投影光学系PLの先端部の光学素子2の液体接触面2Aと同等の液体接触面を有する所定の部材が、計測ステーションSTAに設けられていればよい。この場合、光学部材83や前記所定の部材は、露光ステーションSTEにおける投影光学系PLの光学素子(液体接触面2A)と同等の液体接触面を有し、計測ステーションSTAで形成される液浸領域AR2'が、露光ステーションSTEで形成される液浸領域AR2と略同じ状態に形成されるようにするものであって、同一環境を創り出すためのダミー部材として機能する。一方で、液体LQを保持するための光学部材83を基板アライメント系82の光学系の一部として用いることで、液浸領域AR2'を形成した状態でアライメントのための計測を行うことができる。

[0045] なお、ツインステージ型露光装置の具体的な構成は、例えば、特開平10-16309号公報、特開平10-214783号公報及びこれらに対応する米国特許6,400,441号と、特表2000-505958号公報及びこれに対応する米国特許5,969,441号及び米国特許6,262,796号に記載されている。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記公報または米国特許における開示を援用して本明細書の一部とする。

[0046] 図3は基板ステージPST(PST1、PST2)を上方から見た平面図である。図3において、平面視矩形状の基板ステージPSTの互いに垂直な2つの縁部に移動鏡55が配置されている。

[0047] また、基板ステージPST上において、基板Pの外側の所定位置には、基準部材300が配置されている。基準部材300には、基板アライメント系82により検出される基準マークPFMと、マスクアライメント系84により検出される基準マークMFMとが所定の

位置関係で設けられている。基準部材300の上面301Aはほぼ平坦面となっており、基板ステージPSTに保持された基板P表面、及び基板ステージPSTの上面61とほぼ同じ高さ(面一)に設けられている。基準部材300の上面301Aは、フォーカス・レベリング検出系70の基準面としての役割も果たすことができる。

[0048] また、基板アライメント系82は、基板P上に形成されたアライメントマーク1も検出する。図3に示すように、基板P上には複数のショット領域S1〜S24が形成されており、アライメントマーク1は複数のショット領域S1〜S24に対応して基板P上に複数設けられている。なお図3では、各ショット領域は互いに隣接するように図示されているが、実際には互いに離間しており、アライメントマーク1はその離間領域であるスクライブライン上に設けられている。

[0049] また、基板ステージPST上のうち、基板Pの外側の所定位置には、計測用センサとして例えば特開昭57-117238号公報及びこれに対応する米国特許4,465,368号に開示されているような照度ムラセンサ400が配置されている。照度ムラセンサ400は平面視矩形状の上板401を備えている。上板401の上面401Aはほぼ平坦面となっており、基板ステージPSTに保持された基板P表面、及び基板ステージPSTの上面61とほぼ同じ高さ(面一)に設けられている。上板401の上面401Aには、光を通過可能なピンホール部470が設けられている。上面401Aのうち、ピンホール部470以外はクロムなどの遮光性材料で覆われている。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記公報または米国特許における開示を援用して本明細書の一部とする。

[0050] また、基板ステージPST上のうち、基板Pの外側の所定位置には、計測用センサとして例えば特開2002-14005号公報及びこれに対応する米国公報2002/0041377号に開示されているような空間像計測センサ500が設けられている。空間像計測センサ500は平面視矩形状の上板501を備えている。上板501の上面501Aはほぼ平坦面となっており、基板ステージPSTに保持された基板P表面、及び基板ステージPSTの上面61とほぼ同じ高さ(面一)に設けられている。上板501の上面501Aには、光を通過可能なスリット部570が設けられている。上面501Aのうち、スリット部570以外はクロムなどの遮光性材料で覆われている。本国際出願で指定した指定国(又

は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記各公報における開示を援用して本明細書の一部とする。

[0051] また、不図示ではあるが、基板ステージPST上には、例えば特開平11-16816号公報及びこれに対応する米国公報2002/0061469号に開示されているような照射量センサ(照度センサ)も設けられており、その照射量センサの上板の上面は基板ステージPSTに保持された基板P表面や基板ステージPSTの上面61とほぼ同じ高さ(面一)に設けられている。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記各公報における開示を援用して本明細書の一部とする。

[0052] そして、基準部材300、及び上板401、501などは基板ステージPSTに対して脱着可能となっている。基準部材300や上板401、501の撥液性が劣化したときは、新たな基準部材300、上板401、501と交換できるようになっている。

[0053] 次に、上述した露光装置EXを用いてマスクMのパターンを基板Pに露光する手順について図4のフローチャート図を参照しながら説明する。

[0054] まず、露光処理前の基板Pが計測ステーションSTAに搬入される。計測ステーションSTAには第2基板ステージPST2が配置されており、制御装置CONTは、不図示の搬送系を使って、露光処理前の基板Pを計測ステーションSTAの第2基板ステージPST2に搬入(ロード)する。搬入された基板Pは、第2基板ステージPST2上の基板ホルダPHに保持される。一方、露光ステーションSTEには、計測ステーションSTAでの計測処理済みの基板Pを保持した第1基板ステージPST1が配置されている。

[0055] [ウェット状態でのZ位置の検出(計測ステーション)]

制御装置CONTは、計測ステーションSTAにおいて、基板Pを保持した第2基板ステージPST2に関する計測処理を開始する。まず、制御装置CONTは、光学部材83と基準部材300とを対向するように基板ステージPSTを移動する。そして、制御装置CONTは、計測ステーションSTAの第2液体供給機構30及び第2液体回収機構40を使って液体LQの供給及び回収を行い、計測ステーションSTAに配置されている基板ステージPST上の基準部材300と光学部材83との間に液体LQを配置して液浸領域AR2'を形成する。そして、制御装置CONTは、Zチルトステージ52の位置(

Z方向の位置)、姿勢(傾斜 θX 、 θY)を調整しつつ、フォーカス・レベリング検出系70を使って、第2基板ステージPST2上の基準部材300の表面(上面)301AのZ軸方向に関する位置情報を液体LQを介して検出する(ステップSA1)。

[0056] それと同時に、制御装置CONTは、Z干渉計58を使って、Zチルトステージ52のZ軸方向に関する位置情報を検出する。これにより、Z干渉計58によって規定される座標系内での基準部材300の表面(基準面)301Aの位置情報、具体的には、基準部材300の表面(基準面)301Aの位置とフォーカス・レベリング検出系70の合焦位置とが合致したときの、第2基板ステージPST2(Zチルトステージ52)のZ軸方向に関する位置 Z_0 がZ干渉計58によって計測される。位置 Z_0 に関する情報は制御装置CONTに記憶される。

[0057] 次に、制御装置CONTは、計測ステーションSTAにおいて、第2基板ステージPST2に保持されている基板Pと光学部材83とを対向させ、第2液体供給機構30及び第2液体回収機構40によって液体LQの供給及び回収を行い、基板P上に液体LQの液浸領域AR2'を形成する。そして、制御装置CONTは、計測ステーションSTAに設けられているフォーカス・レベリング検出系70を使って、第2基板ステージPST2に保持されている基板P表面の複数の検出点のZ軸方向に関する位置情報を液体LQを介して検出する(ステップSA2)。

[0058] 例えば制御装置CONTは、XY干渉計56の出力をモニタしつつ第2基板ステージPST2のXYステージ53を移動し、基板P表面の面内(XY平面内)における複数点でのZ方向に関する位置情報をフォーカス・レベリング検出系70を使って液体LQを介して検出する。具体的には、フォーカス・レベリング検出系70の投光部70Aから射出された検出光が、基板P表面の複数の位置に照射されるように、第2基板ステージPST2のXYステージ53を移動させつつ、Zチルトステージ52を駆動してそのZチルトステージ52の位置(Z方向の位置)、姿勢(傾斜 θX 、 θY)を調整して、基板P表面の複数点のZ位置情報を検出する。フォーカス・レベリング検出系70による位置情報検出結果は基板P(第2基板ステージPST2)のXY平面内での位置に対応させて制御装置CONTに記憶される。なお、フォーカス・レベリング検出系70による位置情報の検出は、基板P上の全てのショット領域S1〜S24毎に行うようにしてもよいし、一部

のショット領域に対して行うだけでもよい。

[0059] ここで、制御装置CONTは、基板P表面の複数の検出点の位置情報をフォーカス・レベリング検出系70を使って液体LQを介して検出したときの、Zチルトステージ52のZ位置情報を、Z干渉計58を使って計測する。これにより、Zチルトステージ52については位置Z₀と基板P表面との位置関係を導出することができる。換言すれば、Z干渉計58によって規定される座標系内での基板P表面の位置情報が計測される。

[0060] 次に、制御装置CONTは、上記検出した基板P表面の複数の検出点の位置情報に基づいてマップデータを作成し、そのマップデータに基づいて基板P表面の近似平面(近似表面)を求める。これにより、制御装置CONTは、Zチルトステージ52(位置Z₀)を基準とした基板P表面の近似平面を求めたことになる(ステップSA3)。

[0061] [ウェット状態でのXY位置の検出(計測ステーション)]

次いで、制御装置CONTは、基板アライメント系82の検出領域が基準部材300上に位置決めされるように基板ステージPSTを移動する。具体的には、制御装置CONTは、基板アライメント系82の光学部材83と基準部材300とを対向するように、基板ステージPSTを移動する。そして、制御装置CONTは、第2液体供給機構30及び第2液体回収機構40によって液体LQの供給及び回収を行い、基準部材300上に液体LQの液浸領域AR2'を形成する。制御装置CONTは、光学部材83の液体接触面83A及び基準部材300の表面301Aに液体LQを接触させた状態で、基板アライメント系82を使って、基準部材300上の基準マークPFMを液体LQを介して計測する。基板アライメント系82が基準部材PFMを計測しているときの基板ステージPSTの位置はXY干渉計56によって計測されている。したがって、制御装置CONTは、XY干渉計56によって規定される座標系内での基準マークPFMの位置情報を求めることができる(ステップSA4)。

[0062] 次に、制御装置CONTは、計測ステーションSTAの第2液体供給機構30及び第2液体回収機構40を使って液体LQの供給及び回収を行い、計測ステーションSTAに配置されている基板P上又は基板ステージPST上に液体LQを配置して液浸領域AR2'を形成する。そして、制御装置CONTは、基板ステージPSTをXY方向に移動し、基板P上の複数のショット領域S1〜S24に付随して設けられた複数のアライメ

ントマーク1を基板アライメント系82の検出領域に順次配置する。制御装置CONTは、基板P上に液体LQを配置して液浸領域AR2'を形成した状態で、基板アライメント系82によって基板P上の複数のアライメントマーク1を液体LQを介して順次計測する。このときも、液浸領域AR2'の液体LQは基板アライメント系82の光学部材83の液体接触面83Aに接触しており、基板アライメント系82は光学部材83の液体接触面83Aに液体LQを接触させた状態でアライメントマーク1を計測する。基板アライメント系82がアライメントマーク1を計測しているときの基板ステージPSTの位置はXY干渉計56によってモニタされている。その結果、制御装置CONTは、XY干渉計56によって規定される座標系内での各アライメントマーク1の位置情報を求めることができる(ステップSA5)。

- [0063] また基板アライメント系82は、XY干渉計56によって規定される座標系内に検出基準位置を有しており、アライメントマーク1の位置情報は、その検出基準位置との偏差として検出される。
- [0064] なお本実施形態の基板アライメント系82では、基板ステージPSTを静止させてマーク上にハロゲンランプからの白色光等の照明光を照射して、得られたマークの画像を撮像素子により所定の撮像視野内で撮像し、画像処理によってマークの位置を計測するFIA(フィールド・イメージ・アライメント)方式が採用されている。
- [0065] ここで、本実施形態では、例えば特開昭61-44429号公報に開示されているような、所謂EGA(エンハンスト・グローバル・アライメント)方式によりショット領域S1〜S24の位置情報が求められる。そのため、制御装置CONTは、基板P上に形成された複数のショット領域S1〜S24のうち、少なくとも三つの領域(EGAショット領域)を指定し、各ショット領域に付随したアライメントマーク1を基板アライメント系82を使って検出する。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記公報における開示を援用して本明細書の一部とする。なお、基板アライメント系82は基板P上の全てのアライメントマーク1を検出してもよい。
- [0066] 制御装置CONTは、アライメントマーク1の位置情報の検出結果に基づいて、基板P上の複数のショット領域S1〜S24それぞれの位置情報を演算処理(EGA処理)によって求める(ステップSA6)。

- [0067] EGA方式では、上記EGAショット領域に付随したアライメントマーク1の位置情報(座標位置)を基板アライメント系82を使って検出した後、その検出値と設計値とに基づいて基板P上のショット領域S1〜S24の配列特性(位置情報)に関する誤差パラメータ(オフセット、スケール、回転、直交度)を最小二乗法等により統計演算して決定する。そして、この決定されたパラメータの値に基づいて、基板P上の全てのショット領域S1〜S24に対してその設計上の座標値を補正する。これにより、基板アライメント系82の検出基準位置と、基板ステージPSTに載置された基板P上の各ショット領域との位置関係が決定される。すなわち、制御装置CONTは、レーザ干渉計56の出力から基板アライメント系82の検出基準位置に対して基板P上の各ショット領域がどこに位置しているかを知ることができる。
- [0068] ここで、図1に示すように、計測ステーションSTAの基板アライメント系82の検出領域と、フォーカス・レベリング検出系70の検出領域とはほぼ同じ、あるいは近接して設けられている。そして、液浸領域AR2'には、基板アライメント系82の検出光と、フォーカスレベリング検出系70の検出光との双方が同時に照射可能である。つまり、計測ステーションSTAの基板アライメント系82の検出領域と、フォーカス・レベリング検出系70の検出領域との双方が、液浸領域AR2'の内側に設けられている。したがって、制御装置CONTは、基板アライメント系82による計測と、フォーカス・レベリング検出系70による計測とを略同時に行うことができる。具体的には、上記ステップSA1とステップSA4とを並行して行うことができる。あるいは、上記ステップSA2とステップSA5とを並行して行うこともできる。これにより、計測処理時間を短縮することができる。
- [0069] なお、複数のアライメントマーク1の位置情報の検出(ステップSA5)を行った後、基板Pの面情報の検出(ステップSA2)を行ってもよい。あるいは、基板Pの面情報の検出とアライメントマーク1の位置情報の検出とを交互に行ってもよい。あるいは、マークのXY位置の検出(ステップSA4、SA5)を行った後、Z位置の検出(ステップSA1、SA2)を行ってもよい。すなわち、上述した各ステップの順番は任意に変更可能である。
- [0070] そして、ステップSA4で計測した基準マークPFMの位置情報と、ステップSA5で計

測した基板P上の複数のアライメントマーク1の位置情報とにより、制御装置CONTは、基準マークPFMと基板P上の複数のアライメントマーク1との位置関係を求めることができる。また、ステップSA6のEGA処理により、複数のアライメントマーク1とショット領域S1〜S24との位置関係は求められている。したがって、制御装置CONTは、前記求めた基準マークPFMと基板P上の複数のアライメントマーク1との位置関係に基づいて、基準マークPFMと基板P上の複数のショット領域S1〜S24との位置関係をそれぞれ求めることができる。また、上述したように、基準マークPFMと基準マークMFMとは所定の位置関係で設けられていて既知であるため、制御装置CONTは、XY平面内における基準マークMFMと基板P上の複数のショット領域S1〜S24との位置関係をそれぞれ決定することができる。

[0071] 上述したような計測ステーションSTAでの計測処理(ステップSA1〜SA6)を終えた第2基板ステージPST2は、露光ステーションSTEに移動される。なお、基板ステージPSTが計測ステーションSTAから露光ステーションSTEに移動する前に、制御装置CONTは、第2液体回収機構40を使って、基板Pや基板ステージPST上の液体LQを回収する。一方、露光ステーションSTEに配置されていた第1基板ステージPST1は、計測ステーションSTAに移動される。ここで、露光ステーションSTEにおいては、計測ステーションSTAでの第2基板ステージPST2に対する計測処理と並行して、第1基板ステージPST1に保持された基板Pに対する露光処理が行われている。

そして、露光処理を終えた基板Pを保持した第1基板ステージPST1が計測ステーションSTAに移動される。計測ステーションSTAに移動した第1基板ステージPST1上の基板Pは搬出(アンロード)される。そして、新たな露光処理されるべき基板Pが計測ステーションSTAの第1基板ステージPST1に搬入(ロード)され、上述した計測処理が行われる。

[0072] [ウェット状態でのXY位置の検出(露光ステーション)]

一方、計測ステーションSTAから露光ステーションSTEに移動された第2基板ステージPST2に対して、制御装置CONTは、マスクアライメント系84を使った計測処理を行う。制御装置CONTは、マスクアライメント系84により基準部材300上の基準マ

ークMFMを検出できるように、すなわち、投影光学系PLの先端部の光学素子2と基準部材300とが対向するように、基板ステージPSTをXY方向に移動する。そして、制御装置CONTは、露光ステーションSTEの第1液体供給機構10及び第1液体回収機構20を使って液体LQの供給及び回収を行い、投影光学系PLの光学素子2と基準部材300との間に液体LQを満たして液浸領域AR2を形成する。そして、制御装置CONTは、マスクアライメント系84を使って、マスクM、投影光学系PL、及び液体LQを介して基準マークMFMの検出を行う(ステップSA7)。

[0073] すなわち、制御装置CONTは、マスクM上のマークと基準マークMFMとの位置関係を投影光学系PLと液体LQとを介して検出する。これにより投影光学系PLと液体LQとを介して、XY平面内におけるマスクMの位置、すなわちマスクMのパターンの像の投影位置情報と基準マークMFMとの位置関係が計測される。

[0074] なお本実施形態のマスクアライメント系84では、マークに対して光を照射し、CCDカメラ等で撮像したマークの画像データを画像処理してマーク位置を検出するVRA(ビジュアル・レチクル・アライメント)方式が採用されている。

[0075] そして、上記基板アライメント系82を使って計測した基準マークPFMと基板P上の各ショット領域S1〜S24との位置関係の情報と、上記マスクアライメント系84を使って計測したマスクMのパターンの像の投影位置と基準マークMFMとの位置関係の情報と、所定の位置関係で設けられている既知である基準マークPFMと基準マークMFMとの位置関係の情報とに基づいて、制御装置CONTは、基板P上のショット領域S1〜S24と投影光学系PL及び液体LQを介したマスクMのパターンの像の投影位置とを位置合わせすることができる。

[0076] [ウェット状態でのZ位置の検出(露光ステーション)]

また、制御装置CONTは、投影光学系PLの光学素子2と基板Pとを対向するように基板ステージPSTを移動した後、第1液体供給機構10及び第1液体回収機構20によって液体LQの供給及び回収を行い、基板P上に液体LQの液浸領域AR2を形成する。

そして、制御装置CONTは、露光ステーションSTEに設けられているフォーカス・レベリング検出系70を使って、第2基板ステージPST2上の基板P表面の1つの検出

点、あるいは計測ステーションSTAで検出した検出点よりも少ない数の検出点のZ位置情報を液体LQを介して検出する(ステップSA8)。

[0077] 更に、制御装置CONTは、基板P表面の検出点の位置情報をフォーカス・レベリング検出系70を使って検出したときの、Zチルトステージ52のZ位置情報を、Z干渉計58を使って計測する。Z干渉計58により、Zチルトステージ52のZ軸方向の位置(位置 Z_0 に対する位置)が検出される。基板P表面の近似平面はステップSA3において求められているため、制御装置CONTは、露光ステーションSTEにおいて基板P表面の1つ(あるいは複数)の検出点におけるZ位置情報及びXY平面内での位置情報を検出することにより、その検出結果に基づいて、露光ステーションSTEにおけるZチルトステージ52(位置 Z_0)を基準とした基板P表面の近似平面を導出することができる。

[0078] また、制御装置CONTは、第2基板ステージPST2を移動し、投影光学系PLの光学素子2と基準部材300との間に液体LQを満たした状態で、基準部材300の表面(基準面)301Aをフォーカス・レベリング検出系70で検出し、投影光学系PL及び液体LQを介して形成される像面と基準部材300の表面301Aとの関係を計測する(ステップSA9)。

[0079] ここで、フォーカス・レベリング検出系70は、ウェット状態において、投影光学系PLにより液体LQを介して形成される像面と被検面との位置関係(ずれ)を検出できるようになっている。したがって、フォーカス・レベリング検出系70は、ウェット状態で基準部材300の表面301Aを検出することによって、位置 Z_0 を基準とした、投影光学系PL及び液体LQを介して形成される像面と基板P表面との位置関係を求めることができる。

[0080] なお、投影光学系PLと液体LQとを介して形成される像面を計測するために、空間像計測センサ500を使ってもよい。その場合、制御装置CONTは、投影光学系PLの光学素子2と空間像計測センサ500の上板501の上面(基準面)501Aとを対向させ、光学素子2と上面501Aとの間に液体LQを満たして液浸領域AR2を形成する。その状態で、制御装置CONTは、投影光学系PL及び液体LQを介して空間像計測センサ500に露光光ELを照射しつつ、Zチルトステージ52をZ軸方向に移動し、空

間像計測センサ500を使って最良結像面(像面)を検出する。そして、最良結像面を検出したときのZチルトステージ52の位置をZ干渉計58で計測することにより、位置Z₀を基準とした投影光学系PLと液体LQとを介して形成される像面の位置を求めることができる。したがって、これに基づいて、投影光学系PLと液体LQとを介して形成される像面と、基板P表面との位置関係を求めることができる。

[0081] また、制御装置CONTは、基板Pの露光を行う前に、例えば投影光学系PLの光学素子2と照度ムラセンサ400の上板401の上面401Aとの間液体LQを満たした状態で、照明光学系ILより露光光ELを射出し、投影光学系PLと液体LQとを介して、照度ムラセンサ400により投影領域AR1内における露光光ELの照度分布を検出することができる。制御装置CONTは、照度ムラセンサ400の上面401A上に液体LQの液浸領域を形成した状態で、露光光ELが照射される照射領域(投影領域)内の複数の位置で順次照度ムラセンサ400のピンホール部470を移動させる。制御装置CONTは、照度ムラセンサ400の検出結果に基づいて、投影光学系PLの投影領域AR1内における露光光ELの照度分布が所望状態となるように、その露光光ELの照度分布を適宜補正する。同様に、制御装置CONTは、上述した照射量センサを使って露光光ELの照度を計測し、その計測結果に基づいて適宜補正を行う。

[0082] [ウェット状態でのアライメント及び露光(露光ステーション)]

以上のような計測処理が終了すると、制御装置CONTは、基板P上の各ショット領域S1〜S24を露光するために、第1液体供給機構10及び第1液体回収機構20によって液体LQの供給及び回収を行いながら基板ステージPSTを移動して投影光学系PLの下に液浸領域AR2を基板P上へ移動する。基準部材300を含む基板ステージPSTの上面61と、基板Pの表面はそれぞれほぼ同じ高さなので、投影光学系PLの下に液体LQを保持した状態で基板ステージPSTをXY方向に移動することができる。そして、前述の計測処理中に求めた各情報を使って、基板P上の各ショット領域S1〜S24を走査露光する(ステップSA10)。

[0083] そして、各ショット領域S1〜S24のそれぞれに対する走査露光中には、基準マークPFMと各ショット領域S1〜S24との位置関係の情報、及び基準マークMFMを使って求めたマスクMのパターンの像の投影位置情報に基づいて、基板P上の各ショット

領域S1〜S20とマスクMとの位置合わせが行われる。

[0084] また、各ショット領域S1〜S24に対する走査露光中は、計測ステーションSTAで求めた、位置 Z_0 を基準とした基準部材300の表面(基準面)301Aと基板P表面との位置関係の情報、及び露光ステーションSTEで求めた、基準部材300の表面301Aと投影光学系PL及び液体LQを介して形成される像面との位置関係の情報に基づいて、露光ステーションSTEのフォーカス・レベリング検出系70を使うことなしに、基板P表面と投影光学系PL及び液体LQを介して形成される像面との位置関係を調整(補正)しつつ露光が行われる。つまり、液浸走査露光を行う際には、ステップSA8、SA9で得られた基板P表面の近似表面に関する情報と、基準部材300の表面(基準面)301AのZ位置に関する情報とに基づいて、投影光学系PLと液体LQとを介した像面と基板P表面(露光面)とが合致するように、Zチルトステージ52が駆動される。これにより、各ショット領域S1〜S24に対して、基板Pの姿勢(Z、 θX 、及び θY 位置)を適切に調整した状態で、液浸露光を行うことができる。なお、ステップSA2で基板P上の全てのショット領域S1〜S24について位置情報を検出した場合は、各ショット領域毎に、基準部材300の表面301Aとの間のZ方向の位置に関する関係が得られる。これに対し、ステップSA2で基板P上の一部のショット領域についてのみZ方向の位置情報を検出した場合は、得られた近似表面(X、Y、Z座標で表される)に基づいて、各ショット領域に対応するXY平面内での位置におけるZ方向の位置情報を演算等により求めておけばよい。

[0085] なお、走査露光中に露光ステーションSTEのフォーカス・レベリング検出系70を使って基板P表面の面情報(XY平面内でのZ位置情報)を検出し、基板P表面と液体LQを介して形成される像面との位置関係の調整結果の確認に用いるようにしてもよい。

[0086] なお、上述した実施形態では、基板P表面と液体LQを介して形成される像面との位置関係の調整は、基板Pを保持するZチルトステージ52を駆動することによって行っているが、マスクMや投影光学系PLを構成する複数のレンズの一部を動かして、像面を基板P表面に合わせるようにしてもよい。

[0087] 第2基板ステージPST2上の基板Pに対する液浸露光処理が終了した後、制御装

置CONTは、露光ステーションSTEの第2基板ステージPST2を計測ステーションSTAに移動する。これと並行して、計測ステーションSTAで計測処理を終えた基板Pを保持した第1基板ステージPST1が露光ステーションSTEに移動する。

[0088] 制御装置CONTは、計測ステーションSTAに移動した第2基板ステージPST2に保持されている露光処理済みの基板Pを、不図示の搬送系を使って搬出する。

[0089] 以上説明したように、ツインステージ型露光装置EXの露光ステーションSTEで基板P上に液体LQを配置したウェット状態で露光(液浸露光)する場合において、計測ステーションSTAで計測処理するときにおいても、基板Pあるいは基板ステージPST上に液体LQを配置したウェット状態で計測することで、液浸露光処理時とほぼ同じ条件のもとで計測処理を行うことができる。したがって、計測誤差の発生を抑え、その計測結果に基づいて精度良く露光処理することができる。

[0090] すなわち、基板Pや基板ステージPST上に液体LQを配置したとき、その液体LQの圧力や自重などによって、基板Pや基板ステージPSTに力が作用し、その基板Pや基板ステージPSTが僅かながら変形する可能性がある。その場合、例えば液体LQを配置しない非液浸状態(ドライ状態)での基板P(又は基板ステージPST)の表面形状と、液体LQを配置した液浸状態(ウェット状態)での基板P(又は基板ステージPST)の表面形状とが互いに異なる場合が生じる。すると、例えばドライ状態で計測したときの基板Pの面位置情報の計測結果と、ウェット状態にしたときの実際の基板Pの面位置とが互いに異なる状況が発生する。

[0091] あるいは、液体LQの屈折率によって、基板Pの面情報を液体LQを介して計測するときの検出光の光路と、液体LQを介さないで計測するときの検出光の光路とが互いに異なる状況も発生する。このような状況が発生した場合、ドライ状態での計測結果に基づいて基板Pの面位置を調整すると、例えば投影光学系PLと液体LQとを介して形成される像面に基板P表面を合致させることが困難になる。

[0092] ところが、計測ステーションSTAにおいてウェット状態で計測し、その計測結果に基づいて、露光ステーションSTEで基板Pをウェット状態で露光するときの基板Pの面位置を調整(補正)することで、計測ステーションSTAでの計測結果を露光ステーションSTEでの露光に反映させることができ、基板Pの面位置を所望の位置に配置する

ことができる。

- [0093] また、本実施形態においては、計測ステーションSTAで液浸領域AR2'を形成するときに、投影光学系PLの光学素子2の液体接触面2Aとほぼ同じ液体接触面83Aに液体LQを接触させるようにしたので、露光ステーションSTEで形成される液浸領域AR2の状態と計測ステーションSTAで形成される液浸領域AR2'の状態とをほぼ同じにすることができる。したがって、計測ステーションSTAでの計測精度を向上することができる。
- [0094] また、本実施形態における露光装置EXはツインステージ型露光装置であり、計測ステーションSTAにおいて、基板Pの面位置情報を予め計測しておくことにより、露光ステーションSTEにおいて、前記計測結果に基づいて、基板P表面と投影光学系PL及び液体LQを介した像面との位置関係の調整を効率良く行うことができ、スループットを向上できる。
- [0095] そして、本実施形態においては、計測ステーションSTAで計測した基板Pの面位置情報に基づいて基板Pの近似平面を予め求めておき、その求めた結果に基づいて基板P表面を投影光学系PL及び液体LQを介した像面に合致させるためにZチルトステージ52をフィードフォワード制御で駆動する。したがって、基板P表面に微小変形成分(高次変形成分)があったとしても、Zチルトステージ52による位置関係の調整動作を変形成分に追従させることができ、投影光学系PL及び液体LQを介して形成された像面と基板P表面(露光面)とを合致させることが可能となる。例えば露光ステーションSTEに設けられたフォーカス・レベリング検出系70の検出結果に基づいて投影光学系PL及び液体LQを介して形成された像面と基板P表面とを合致させるためにZチルトステージ52をフィードバック制御で駆動する構成では、フィードバック系の応答周波数などに応じてZチルトステージ52を駆動するときの応答性(追従性)に限界が生じる場合がある。しかしながら、予め求めた基板Pの近似平面に基づいてZチルトステージ52をフィードフォワード制御で駆動することで、Zチルトステージ52を高い応答性(追従性)で駆動することができる。
- [0096] なお、走査露光中に露光ステーションSTEのフォーカス・レベリング検出系70を使って基板P表面の面情報を検出し、走査露光中に検出された面情報を、計測ステー

ションSTAで予め求めた基板Pの近似平面に更に加味して、基板P表面と像面との位置関係をZチルトステージ52を駆動して調整するようにしてもよい。つまり、前記フィードフォワード制御とフィードバック制御とを併用するようにしてもよい。

[0097] なお、本実施形態においては、計測ステーションSTAの基板アライメント系82は、ウェット状態で基板P上のアライメントマーク1及び基準部材300の基準マークPFMを計測する構成であるが、ドライ状態でマーク計測を行うようにしてもよい。こうすることによっても、基板Pと基準マークPFMとの位置関係を求めることができる。

[0098] ところで、上述した実施形態においては、計測ステーションSTAのフォーカス・レベリング検出系70の計測結果に基づいて、露光ステーションSTEで基板Pを露光するときの基板P表面の位置を補正しているが、荷重センサ64の計測結果に基づいて、露光ステーションSTEでの基板Pの面位置を補正することもできる。ここで、上述したように、荷重センサ64A〜64Cは基板Pを保持する基板ホルダPHの下に設けられており、液体LQが基板Pに及ぼす力を基板ホルダPHを介して計測することができる。そして、荷重センサ64の計測結果も考慮して基板Pの面位置を補正することにより、制御装置CONTは、投影光学系PLと液体LQとを介して形成される像面と基板P表面との位置合わせをより高精度に行うことができる。

[0099] つまり、上述した実施形態においては、計測ステーションSTAでウェット状態で基板Pの面位置を計測して基板Pの近似平面を導出し、露光ステーションSTEで基板P表面の1つの検出点のZ位置情報を検出し、位置 Z_0 を基準とした基板P表面の近似平面を導出する構成である。この場合、計測ステーションSTAで形成された液浸領域AR2'の液体LQが基板Pに及ぼす力と、露光ステーションSTEで形成された液浸領域AR2の液体LQが基板Pに及ぼす力が同じであれば、投影光学系PLと液体LQとを介して形成される像面と基板P表面との位置合わせを良好に行うことができる。ところが、計測ステーションSTAで形成された液浸領域AR2'の液体LQが基板Pに及ぼす力と、露光ステーションSTEで形成された液浸領域AR2の液体LQが基板Pに及ぼす力が異なる場合、計測誤差が生じる。

[0100] 例えば、液体供給機構や液体回収機構の性能のばらつきなどに起因して、計測ステーションSTAで形成される液浸領域AR2'の液体LQの量(重さ)と、露光ステーシ

ョンSTEで形成される液浸領域AR2の液体LQの量(重さ)とが互いに異なる状況が生じる可能性がある。例えば計測ステーションSTAで形成された液浸領域AR2'の液体LQの量(重さ)がAである場合、基板Pの表面形状が、図5のラインL1で示すような形状になるとする。一方、露光ステーションSTEで形成された液浸領域AR2の液体LQの量(重さ)が $A + \alpha$ である場合、基板Pの表面形状は、図5のラインL2で示すような形状になるとする。ここで、基板Pの表面形状の変形量は、液体LQの重さに応じてほぼ比例的に変化するものとする。

- [0101] その場合、計測ステーションSTAで求めた基板Pの近似平面であるラインL1に基づいて、露光ステーションSTEでの基板P表面の位置補正を行おうとすると、露光ステーションSTEでの基板Pの実際の表面形状はラインL2であるため、投影光学系Pと液体LQとを介して形成された像面に、基板P表面を合致させることが困難となる。
- [0102] そこで、制御装置CONTは、荷重センサ64の計測結果に基づいて、露光ステーションSTEでの基板Pの面位置を補正する。
- [0103] 具体的には、制御装置CONTは、計測ステーションSTAにおいて、第2液体供給機構30及び第2液体回収機構40によって基板P上に液体LQを配置した状態で、荷重センサ64A〜64Cを使って、液体LQが基板Pに及ぼす力を計測する。また、制御装置CONTは、そのときの基板Pの表面形状をフォーカス・レベリング検出系70を使って計測する。更に、制御装置CONTは、荷重センサ64A〜64Cで計測した加重情報(加重分布情報)と、フォーカス・レベリング検出系70を使って計測した形状情報とを対応付けて記憶する。
- [0104] 次いで、制御装置CONTは、計測ステーションSTAで計測した基板Pを保持した基板ステージPSTを露光ステーションSTEに移動する。そして、制御装置CONTは、露光ステーションSTEにおいて、第1液体供給機構10及び第1液体回収機構20によって基板P上に液体LQを配置した状態で、荷重センサ64A〜64Cを使って、液体LQが基板Pに及ぼす力を計測する。また、制御装置CONTは、そのときの基板Pの1つの検出点のZ位置情報をフォーカス・レベリング検出系70を使って計測する。
- [0105] 計測ステーションSTAで荷重センサ64A〜64Cを使って計測した計測結果がA、そのときのフォーカス・レベリング検出系70を使って計測した基板Pの表面形状がラ

インL1、露光ステーションSTEで荷重センサ64A〜64Cを使って計測した計測結果が $A + \alpha$ である場合、制御装置CONTは、露光ステーションSTEにおいて液体LQを配置した状態での基板Pの表面形状を、ラインL2であると推定することができる。このように、制御装置CONTは、荷重センサ64A〜64Cの計測結果に基づいて、フォーカス・レベリング検出系70を使って求めた基板Pの近似平面を補正することができる。

そして、制御装置CONTは、ラインL2である基板P表面と投影光学系PLと液体LQとを介した像面とを合致させるためのZチルトステージ52の駆動量に関する補正量を決定する。

[0106] ここで、露光ステーションSTEでの荷重センサ64の計測結果から、基板Pの近似平面を補正するためには、基板Pやその基板Pを保持する基板ホルダPHの剛性に関する情報などが必要となる。その剛性に関する情報などは、例えば実験やシミュレーションによって予め求めることができる。例えば、基板ホルダPHに保持されている基板P上にそれぞれ異なる量の液体LQを配置したときの、荷重センサ64の計測結果と、そのときのフォーカス・レベリング検出系70の計測結果(基板の変形量)とから、すなわち液体LQによって作用される力に対応する基板P(基板ホルダPH)の変形量から、基板Pや基板ホルダPHの剛性を求めることができる。そして、制御装置CONTは、その剛性に関する情報を記憶しておくことで、露光ステーションSTEでの荷重センサ64の計測結果と、計測ステーションSTAで導出した基板Pの近似平面とに基づいて、露光ステーションSTEでの基板Pの近似平面を導出することができる。

[0107] このように、計測ステーションSTAにおいて、基板Pに液体LQを配置した状態で、フォーカス・レベリング検出系70の計測結果に基づいて基板Pの近似平面を求めるとともに、そのときの液体LQが基板Pに及ぼす力を荷重センサ64で計測して、基板Pに関する第1の面情報であるラインL1を求め、次いで、露光ステーションSTEにおいて、基板P上に液体LQを配置した状態で、液体LQが基板Pに及ぼす力を荷重センサ64で計測し、その計測結果に基づいて、第2の面情報であるラインL2を求めることができる。そして、ラインL1とラインL2とに基づいて、露光ステーションSTEにおける基板Pの面位置を補正するためのZチルトステージ52の駆動量の補正量を決定する

。これにより、制御装置CONTは、計測ステーションSTAでの液浸領域AR2'の状態(重さ)と、露光ステーションSTEでの液浸領域AR2の状態(重さ)とが互いに異なっているとしても、投影光学系PL及び液体LQを介して形成された像面と基板P表面とを合致させることができる。

[0108] また、本実施形態においては基板P上の一部に(局所的に)液体LQの液浸領域AR2を形成する構成であり、その液浸領域AR2が基板P上で形成される位置によっても、基板Pの表面形状がそれぞれ異なる状況が発生する。つまり、図6(a)の模式図において、符号AR2aで示すように、液浸領域AR2が基板P(又は基板ステージPST)の-X側に形成されている場合には、図6(b)のラインLaで示すように、例えば基板Pの-X側の領域に顕著な変形が生じる可能性がある。なおラインLaは基板Pの表面形状(変形量)を模式的に示したものである。また、図6(a)の符号AR2b、AR2cで示すような位置に液浸領域AR2が形成される場合には、図6(b)のラインLb、Lcで示すようにその液浸領域AR2の位置に応じた基板Pの位置に顕著な変形が生じる可能性がある。

[0109] このように、基板P(基板ステージPST)の移動に伴って液体LQの液浸領域の位置が符号AR2a、AR2b、AR2cで示すように移動し、基板Pの面方向における液浸領域の位置に応じて、基板Pや基板ステージPSTの表面形状(変形量)が変化する可能性がある。このとき、フォーカス・レベリング検出系70は、液浸領域AR2(AR2')の液体LQを介して基板P上の比較的小領域でのZ位置を計測する構成であるため、基板P全体のグローバルな変形(グローバルな表面形状)を計測することは困難である。そこで、制御装置CONTは、複数位置に設けられた荷重センサ64A〜64Cの計測結果に基づいて、基板P全体のグローバルな変形(表面形状)を求めることができる。荷重センサ64A〜64Cは複数位置(3箇所)に設けられているので、液体LQが配置された状態での基板Pの複数位置(3箇所)のそれぞれについての加重を計測することができる。液浸領域の位置の移動に伴って、複数の荷重センサ64A〜64Cそれぞれの出力は変化する。制御装置CONTは、フォーカス・レベリング検出系70を使って求めた近似平面に関する情報と、荷重センサ64A〜64Cの計測結果に基づいて、基板ホルダPHを含む基板Pの変形量、ひいては基板P全体のグローバルな

変形(表面形状)を所定の演算処理を施すことで求めることができる。ここで、荷重センサ64の計測結果に基づいて基板Pのグローバルな表面形状を求めるときは、例えば基板ホルダPHや基板Pの剛性などを考慮することで求めることができる。

[0110] なお、本実施形態においては、荷重センサ64A〜64Cを基板ホルダPHの下面と、Zチルトステージ52の底面62との間に設けた構成としたが、荷重センサ(計測器)の配置位置はこれに限定されるものではない。例えば、光学素子2と基板P(基板ホルダPH)との間にガラス平板等の露光光を透過させる部材を配置し、このガラス平板と基板Pとの間に液体LQを供給して液浸領域AR2を形成する液浸露光方法においては、そのガラス平板側に荷重センサのような計測器を配置してもよい。そして、その計測器(荷重センサ)を用いて基板Pに加わる力を計測する。この場合、計測ステーションSTAにおいても、基板アライメント系(第1マーク検出系)と基板P(基板ホルダPH)との間に、露光ステーションSTEのガラス平板と等価な部材を配置し、更に荷重センサ等の計測器を配置しておく。そして、その等価な部材(ガラス平板)と基板Pとの間に所定の液体を供給して液浸領域AR2を形成した状態で、計測器(荷重センサ)を用いて基板Pに加わる力を求めておく。なお、本実施形態では、液浸状態で露光処理を行う前の計測処理においても液浸状態となるように構成することで、露光処理時とほぼ同じ条件のもとで計測処理が行われるようにしてある。ところで、基板P上の液体の有無によって基板Pの温度が変化する場合が考えられ、それによって基板Pやその基板Pを保持している基板ホルダPHが変形する可能性がある。そこで、計測処理や露光処理を行う際は、液浸領域AR2、AR2'を形成してから所定時間が経って基板Pや基板ホルダPHが熱的に安定した状態となった後に、計測処理や露光処理を行うようにしてもよい。

また、計測ステーションSTAにおける計測対象は、本実施形態に限定されるものではない。基板ステージPST上に配置された基準部材300や基板Pの位置に関する情報とは直接関係しないような情報を、基板ステージPSTに内蔵あるいは着脱可能に取り付けられたセンサ等で計測するようにしてもよい。例えば、液体LQの温度や汚染度に関する情報を計測するようにしてもよい。

[0111] 上述したように、本実施形態における液体LQは純水により構成されている。純水は

、半導体製造工場等で容易に大量に入手できるとともに、基板P上のフォトレジストや光学素子(レンズ)等に対する悪影響がない利点がある。また、純水は環境に対する悪影響がないとともに、不純物の含有量が極めて低いいため、基板Pの表面、及び投影光学系PLの先端面に設けられている光学素子の表面を洗浄する作用も期待できる。なお工場等から供給される純水の純度が低い場合には、露光装置が超純水製造器を持つようにしてもよい。

[0112] そして、波長が193nm程度の露光光ELに対する純水(水)の屈折率 n はほぼ1.44と言われており、露光光ELの光源としてArFエキシマレーザ光(波長193nm)を用いた場合、基板P上では $1/n$ 、すなわち約134nmに短波長化されて高い解像度が得られる。更に、焦点深度は空気中に比べて約 n 倍、すなわち約1.44倍に拡大されるため、空気中で使用する場合と同程度の焦点深度が確保できればよい場合には、投影光学系PLの開口数をより増加させることができ、この点でも解像度が向上する。

[0113] なお、上述したように液浸法を用いた場合には、投影光学系の開口数NAが0.9〜1.3になることもある。このように投影光学系の開口数NAが大きくなる場合には、従来から露光光として用いられているランダム偏光光では偏光効果によって結像性能が悪化することもあるので、偏光照明を用いるのが望ましい。その場合、マスク(レチクル)のライン・アンド・スペースパターンのラインパターンの長手方向に合わせた直線偏光照明を行い、マスク(レチクル)のパターンからは、S偏光成分(TE偏光成分)、すなわちラインパターンの長手方向に沿った偏光方向成分の回折光が多く射出されるようにするとよい。投影光学系PLと基板P表面に塗布されたレジストとの間が液体で満たされている場合、投影光学系PLと基板P表面に塗布されたレジストとの間が空気(気体)で満たされている場合に比べて、コントラストの向上に寄与するS偏光成分(TE偏光成分)の回折光のレジスト表面での透過率が高くなるため、投影光学系の開口数NAが1.0を越えるような場合でも高い結像性能を得ることができる。また、位相シフトマスクや特開平6-188169号公報に開示されているようなラインパターンの長手方向に合わせた斜入射照明法(特にダイポール照明法)等を適宜組み合わせると更に効果的である。本国際出願で指定した指定国(又は選択した指定国)の国内法令で許される限りにおいて、上記各公報における開示を援用して本明細書

の一部とする。

[0114] また、例えばArFエキシマレーザを露光光とし、 $1/4$ 程度の縮小倍率の投影光学系PLを使って、微細なライン・アンド・スペースパターン(例えば25〜50nm程度のライン・アンド・スペース)を基板P上に露光するような場合、マスクMの構造(例えばパターンの微細度やクロムの厚み)によっては、Wave guide効果によりマスクMが偏光板として作用し、コントラストを低下させるP偏光成分(TM偏光成分)の回折光よりS偏光成分(TE偏光成分)の回折光が多くマスクMから射出されるようになる。この場合、上述の直線偏光照明を用いることが望ましいが、ランダム偏光光でマスクMを照明しても、投影光学系PLの開口数NAが0.9〜1.3のように大きい場合でも高い解像性能を得ることができる。また、マスクM上の極微細なライン・アンド・スペースパターンを基板P上に露光するような場合、Wire Grid効果によりP偏光成分(TM偏光成分)がS偏光成分(TE偏光成分)よりも大きくなる可能性もあるが、例えばArFエキシマレーザを露光光とし、 $1/4$ 程度の縮小倍率の投影光学系PLを使って、25nmより大きいライン・アンド・スペースパターンを基板P上に露光するような場合には、S偏光成分(TE偏光成分)の回折光がP偏光成分(TM偏光成分)の回折光よりも多くマスクMから射出されるので、投影光学系PLの開口数NAが0.9〜1.3のように大きい場合でも高い解像性能を得ることができる。

[0115] 更に、マスク(レチクル)のラインパターンの長手方向に合わせた直線偏光照明(S偏光照明)だけでなく、特開平6-53120号公報に開示されているように、光軸を中心とした円の接線(周)方向に直線偏光する偏光照明法と斜入射照明法との組み合わせも効果的である。特に、マスク(レチクル)のパターンが所定の一方方向に延びるラインパターンだけでなく、複数の異なる方向に延びるラインパターンが混在する場合には、同じく特開平6-53120号公報に開示されているように、光軸を中心とした円の接線方向に直線偏光する偏光照明法と輪帯照明法とを併用することによって、投影光学系の開口数NAが大きい場合でも高い結像性能を得ることができる。本国際出願で指定した指定国(又は選択した指定国)の国内法令で許される限りにおいて、上記各公報における開示を援用して本明細書の一部とする。

[0116] 本実施形態では、投影光学系PLの先端に光学素子2が取り付けられており、この

レンズにより投影光学系PLの光学特性、例えば収差(球面収差、コマ収差等)の調整を行うことができる。なお、投影光学系PLの先端に取り付ける光学素子としては、投影光学系PLの光学特性の調整に用いる光学プレートであってもよい。あるいは露光光ELを透過可能な平行平板であってもよい。

- [0117] なお、液体LQの流れによって生じる投影光学系PLの先端の光学素子と基板Pとの間の圧力が大きい場合には、その光学素子を交換可能とするのではなく、その圧力によって光学素子が動かないように堅固に固定してもよい。
- [0118] なお、本実施形態では、投影光学系PLと基板P表面との間は液体LQで満たされている構成であるが、例えば基板Pの表面に平行平板からなるカバーガラスを取り付けた状態で液体LQを満たす構成であってもよい。
- [0119] なお、本実施形態の液体LQは水であるが、水以外の液体であってもよい、例えば、露光光ELの光源が F_2 レーザである場合、この F_2 レーザ光は水を透過しないので、液体LQとしては F_2 レーザ光を透過可能な例えば、過フッ化ポリエーテル(PFPE)やフッ素系オイル等のフッ素系流体であってもよい。この場合、液体LQと接触する部分には、例えばフッ素を含む極性の小さい分子構造の物質で薄膜を形成することで親液化処理する。また、液体LQとしては、その他にも、露光光ELに対する透過性がある程度だけ屈折率が高く、投影光学系PLや基板P表面に塗布されているフォトリジストに対して安定なもの(例えばセダー油)を用いることも可能である。この場合も表面処理は用いる液体LQの極性に応じて行われる。
- [0120] なお、上記各実施形態の基板Pとしては、半導体デバイス製造用の半導体ウエハのみならず、ディスプレイデバイス用のガラス基板や、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウエハ、あるいは露光装置で用いられるマスクまたはレチクルの原版(合成石英、シリコンウエハ)等が適用される。
- [0121] 露光装置EXとしては、マスクMと基板Pとを同期移動してマスクMのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置(スキャニングステップ)の他に、マスクMと基板Pとを静止した状態でマスクMのパターンを一括露光し、基板Pを順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置(ステップ)にも適用することができる。また、本発明は基板P上で少なくとも2つのパターンを

部分的に重ねて転写するステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置にも適用できる。
。

[0122] また、第1パターンと基板Pとをほぼ静止した状態で第1パターンの縮小像を投影光学系(例えば1/8縮小倍率で反射素子を含まない屈折型投影光学系)を用いて基板P上に一括露光する方式の露光装置にも適用できる。この場合、更にその後に、第2パターンと基板Pとをほぼ静止した状態で第2パターンの縮小像をその投影光学系を用いて、第1パターンと部分的に重ねて基板P上に一括露光するスティッチ方式の一括露光装置にも適用できる。

[0123] また、上述の実施形態では、投影光学系PLと基板Pとの間に局所的に液体を満たす露光装置を採用しているが、露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置や、ステージ上に所定深さの液体槽を形成しその中に基板を保持する液浸露光装置にも本発明を適用可能である。露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置の構造及び露光動作については、例えば、特開平6-124873号公報に、ステージ上に所定深さの液体槽を形成してその中に基板を保持する液浸露光装置については、例えば特開平10-303114号公報や米国特許第5,825,043号にそれぞれ開示されている。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記公報または米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

また、上述の液浸法を適用した露光装置は、投影光学系PLの終端光学部材の射出側の光路空間を液体(純水)で満たしてウエハW(基板P)を露光する構成になっているが、国際公開第2004/019128号パンフレットに開示されているように、投影光学系の終端光学部材の入射側の光路空間も液体(純水)で満たすようにしてもよい。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記パンフレットにおける開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

これらの液浸露光装置を適用させる場合においては、それぞれの構成に応じて、露光ステーションにあるウエハが露光状態にあるときと同様な状態を計測ステーション側で設定できるようにしておけばよい。

[0124] 露光装置EXの種類としては、基板Pに半導体素子パターンを露光する半導体素

子製造用の露光装置に限られず、液晶表示素子製造用又はディスプレイ製造用の露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子(CCD)あるいはレチクル又はマスクなどを製造するための露光装置などにも広く適用できる。

[0125] 基板ステージPSTやマスクステージMSTにリニアモータ(例えば、USP5,623,853またはUSP5,528,118参照)を用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージPST、MSTは、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。

[0126] 各ステージPST、MSTの駆動機構としては、二次元に磁石を配置した磁石ユニットと、二次元にコイルを配置した電機子ユニットとを対向させ電磁力により各ステージPST、MSTを駆動する平面モータを用いてもよい。この場合、磁石ユニットと電機子ユニットとのいずれか一方をステージPST、MSTに接続し、磁石ユニットと電機子ユニットとの他方をステージPST、MSTの移動面側に設ければよい。

[0127] 基板ステージPSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、特開平8-166475号公報及びこれに対応する米国特許5,528,118号に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がすようにしてもよい。

マスク(レチクル)ステージMSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、特開平8-330224号公報及びこれに対応する米国特許5,874,820号に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がすようにしてもよい。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記公報または米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

上述の実施形態においては、光透過性の基板上に所定の遮光パターン(または位相パターン・減光パターン)を形成した光透過型マスク、あるいは光反射性の基板上に所定の反射パターン光反射型マスクを用いたが、それらに限定されるものではない。例えば、そのようなマスクに代えて、露光すべきパターンの電子データに基づいて透過パターンまたは反射パターン、あるいは発光パターンを形成する電子マスク(

光学系の一種とする)を用いるようにしても良い。このような電子マスクは、例えば米国特許第6,778,257号公報に開示されている。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記各米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。なお、上述の電子マスクとは、非発光型画像表示素子と自発光型画像表示素子との双方を含む概念である。

また、例えば、2光束干渉露光と呼ばれているような、複数の光束の干渉によって生じる干渉縞を基板に露光するような露光装置にも適用することができる。そのような露光方法及び露光装置は、例えば、国際公開第01/35168号パンフレットに開示されている。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令で許される限りにおいて、上記パンフレットにおける開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

[0128] 以上のように、本願実施形態の露光装置EXは、本願請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

[0129] 半導体デバイス等のマイクロデバイスは、図7に示すように、マイクロデバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク(レチクル)を製作するステップ202、デバイスの基材である基板を製造するステップ203、前述した実施形態の露光装置EXによりマスクのパターンを基板に露光する基板処理ステップ204、デバイス組み立てステップ(ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工

程を含む) 205、検査ステップ206等を経て製造される。

請求の範囲

- [1] 液体を介して基板を露光する露光装置において、
基板を保持して移動可能な少なくとも2つの基板ステージと、
一方の基板ステージに保持された基板を光学系と液体とを介して露光する露光ステーションと、
他方の基板ステージ又は該基板ステージに保持された基板を計測する計測ステーションとを備え、
前記計測ステーションでの計測は、前記基板ステージ上又は前記基板上に液体を配置した状態で行われることを特徴とする露光装置。
- [2] 前記露光ステーションでの露光中に、前記計測ステーションでの計測が行われることを特徴とする請求項1記載の露光装置。
- [3] 前記計測ステーションで計測された基板ステージ上の基板が前記露光ステーションで露光され、
前記計測ステーションは、前記基板ステージに保持された基板の面情報を液体を介して計測する面検出系を備え、
前記計測ステーションでの計測結果に基づいて、前記露光ステーションでの基板の面位置を補正することを特徴とする請求項1又は2記載の露光装置。
- [4] 前記露光ステーションは、前記光学系と基板との間に液体を供給する第1液体供給機構を備え、
前記計測ステーションは、前記光学系の液体接触面と略等しい液体接触面を有するダミー部材と、前記ダミー部材と前記基板との間に液体を供給する第2液体供給機構とを備えたことを特徴とする請求項1〜3のいずれか一項記載の露光装置。
- [5] 前記液体が前記基板又は該基板を保持する基板ステージに及ぼす力を計測する計測器を備えたことを特徴とする請求項1〜4のいずれか一項記載の露光装置。
- [6] 前記計測器の計測結果に基づいて、露光ステーションでの前記基板の面位置を補正することを特徴とする請求項5記載の露光装置。
- [7] 前記計測器は、液体が配置された状態での前記基板の複数位置のそれぞれについての力を計測し、該計測結果に基づいて、前記基板の面情報を求める制御装置

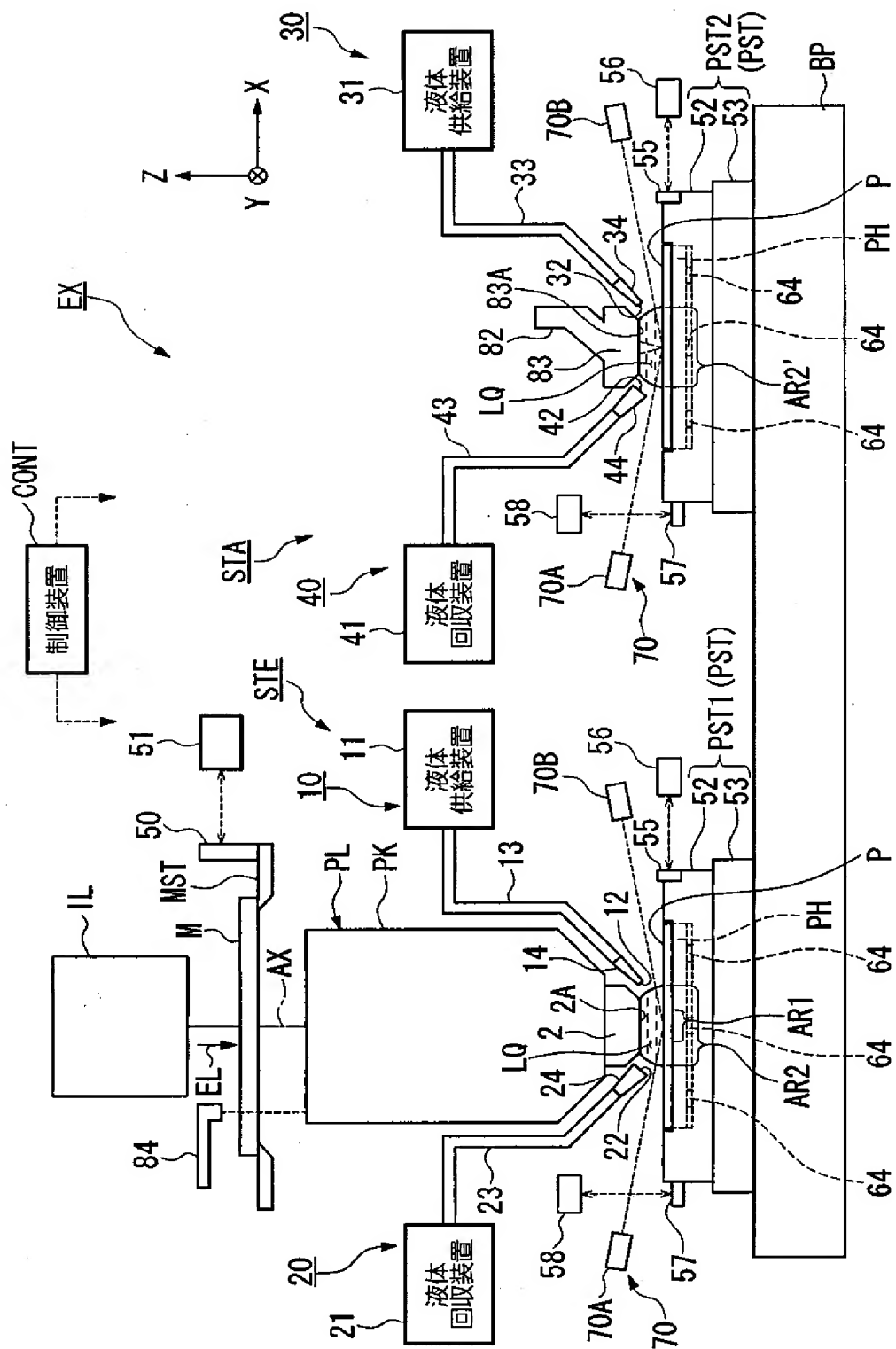
を備えたことを特徴とする請求項6記載の露光装置。

- [8] 前記計測ステーションにおいて、基板上に液体を配置した状態で計測器で計測し、前記基板に関する第1の面情報を求め、
前記露光ステーションにおいて、前記基板上に液体を配置した状態で計測器で計測し、前記基板に関する第2の面情報を求め、
前記第1の面情報と前記第2の面情報とに基づいて、前記露光ステーションにおける前記基板の面位置を補正するための補正量を決定することを特徴とする請求項6記載の露光装置。
- [9] 前記基板上の一部に液体の液浸領域を形成し、
前記基板の面方向における前記液浸領域の位置に応じた前記基板の面情報を求めることを特徴とする請求項1〜8のいずれか一項記載の露光装置。
- [10] 前記計測ステーションは、基板ステージに保持された基板上的のアライメントマークを液体を介して計測するとともに前記基板ステージ上に設けられた基準マークを液体を介して計測する第1マーク検出系を備えたことを特徴とする請求項1〜9のいずれか一項記載の露光装置。
- [11] 前記第1マーク検出系は、前記光学系の液体接触面とほぼ等しい液体接触面を有する光学部材を有し、
前記光学部材の液体接触面に液体を接触させた状態で計測することを特徴とする請求項10記載の露光装置。
- [12] 前記第1マーク検出系と前記基板の面情報を計測する面検出系とは、略同時に計測可能であることを特徴とする請求項10又は11記載の露光装置。
- [13] 前記露光ステーションは、前記基板ステージ上に設けられた基準マークを光学系と液体とを介して計測する第2マーク検出系を有し、
前記第1マーク検出系及び前記第2マーク検出系の計測結果に基づいて、前記基板上的のショット領域と前記光学系及び液体を介したパターン像の位置とを位置合わせすることを特徴とする請求項10〜12のいずれか一項記載の露光装置。
- [14] 請求項1〜請求項13のいずれか一項記載の露光装置を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

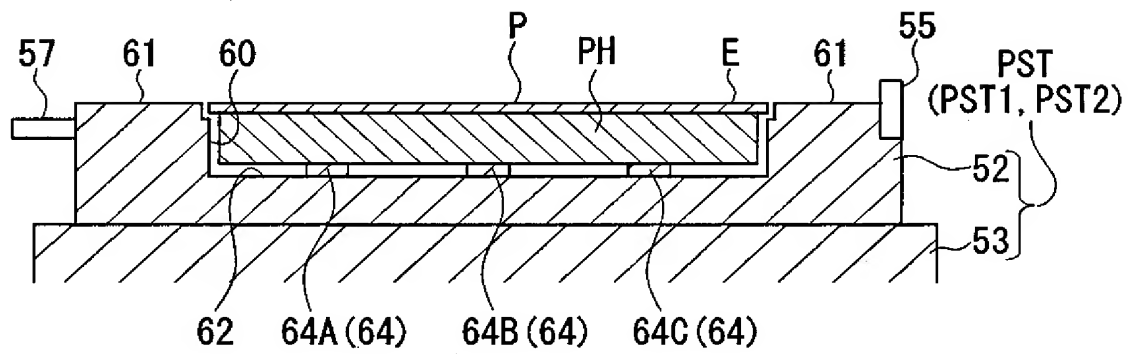
- [15] 液体を介して基板を露光する露光方法において、
計測ステーションで、基板ステージ又は該基板ステージに保持された基板を、その
基板ステージ上又は基板上に液体を配置した状態で計測し、
前記計測ステーションとは別の露光ステーションで、前記基板を光学系と液体とを
介して露光することを特徴とする露光方法。
- [16] 前記計測ステーションで前記基板の面情報を計測し、
前記計測結果に基づいて、前記露光ステーションで基板の面位置を補正しつつ露
光することを特徴とする請求項15記載の露光方法。
- [17] 前記計測ステーションで、前記基板ステージ上に保持された基板上のアライメント
マークを液体を介して計測するとともに前記基板ステージ上に設けられた基準マーク
を液体を介して計測した後、
前記露光ステーションで、前記基板ステージ上に設けられた基準マークを前記光
学系と液体とを介して計測し、
前記計測結果に基づいて、前記基板上のショット領域と前記光学系及び液体を介
したパターン像の位置とを位置合わせすることを特徴とする請求項15又は16記載の
露光方法。
- [18] 前記露光ステーションでの露光中に、前記計測ステーションでの計測が行われるこ
とを特徴とする請求項15～17のいずれか一項記載の露光方法。
- [19] 請求項15～請求項18のいずれか一項記載の露光方法を用いることを特徴とするデ
バイス製造方法。
- [20] 液体を介して基板を露光する露光装置であって、
基板を保持して移動可能な少なくとも2つの基板ステージと、
一方の基板ステージに保持された基板を光学系と液体とを介して露光する露光ス
テーションと、
他方の基板ステージ又は該基板ステージに保持された基板を計測する計測ステー
ションと、
前記露光ステーションに位置する前記基板ステージに保持されている基板上に液
体を供給する第1の液体供給装置と、

前記計測ステーションに位置する前記基板ステージまたは該基板ステージに保持されている基板上に液体を供給する第2の液体供給装置と、を備えたことを特徴とする露光装置。

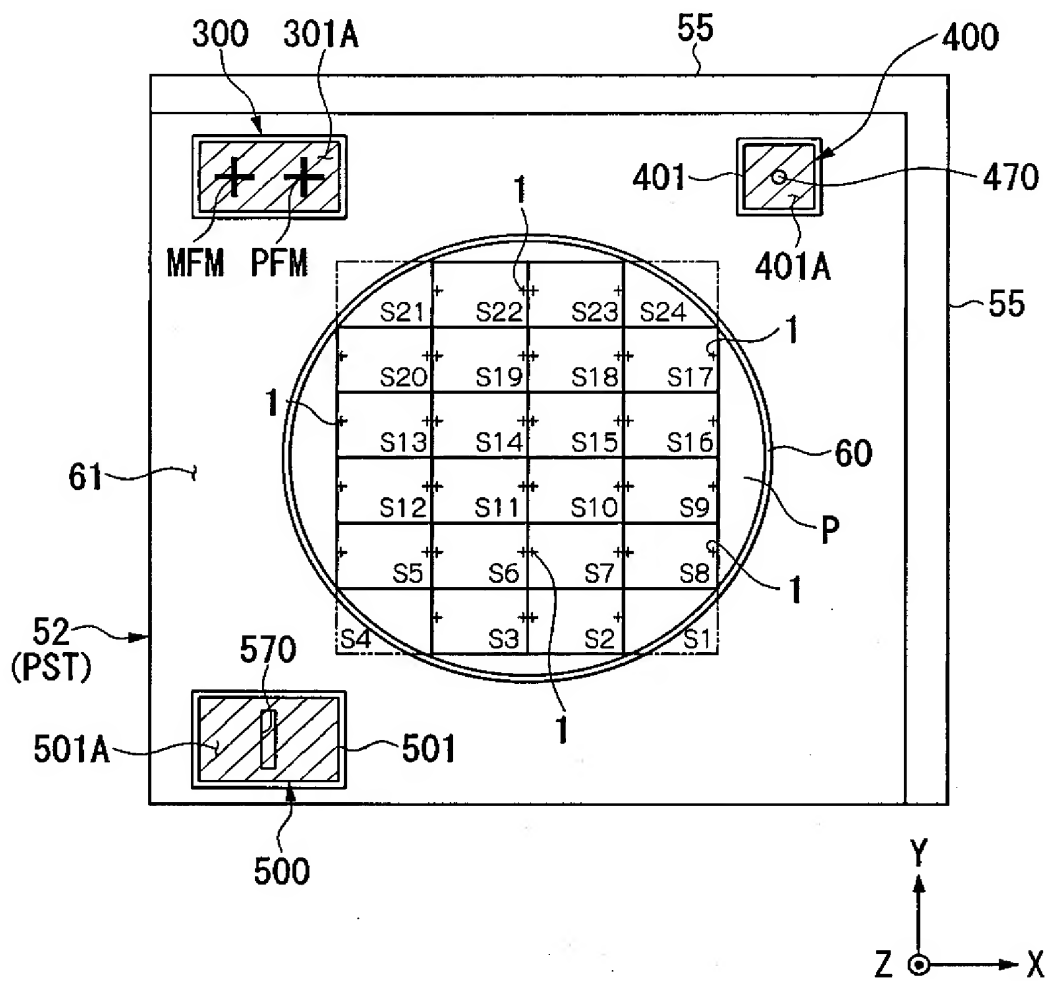
[図1]



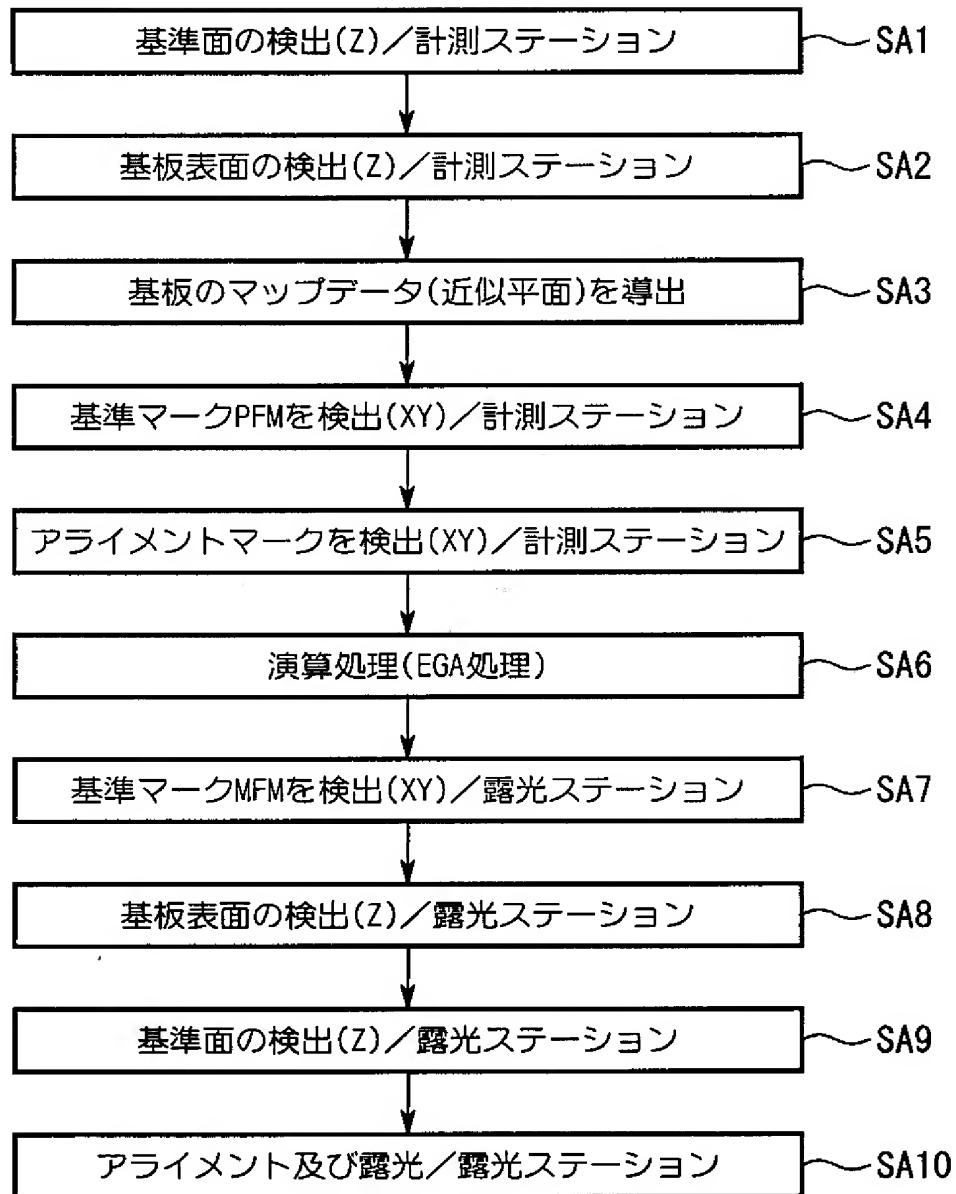
[図2]



[図3]



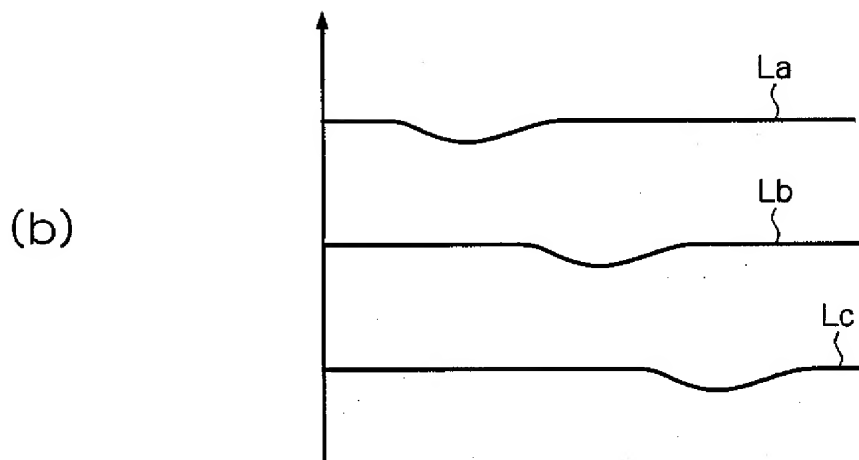
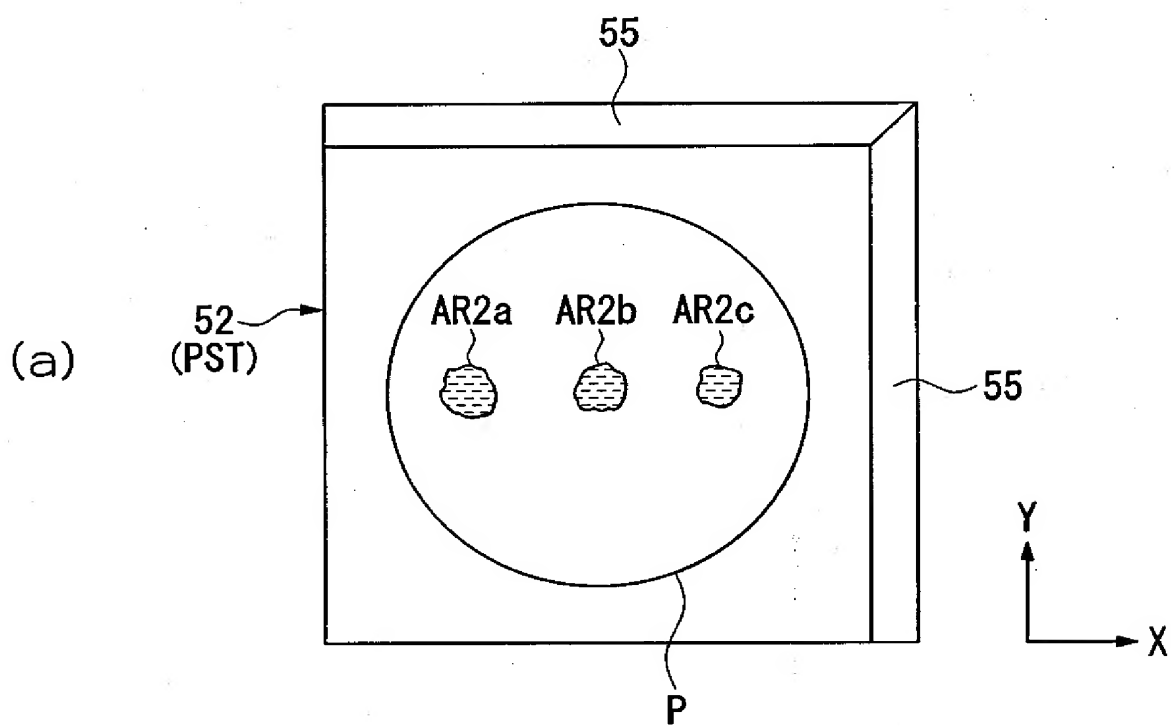
[図4]



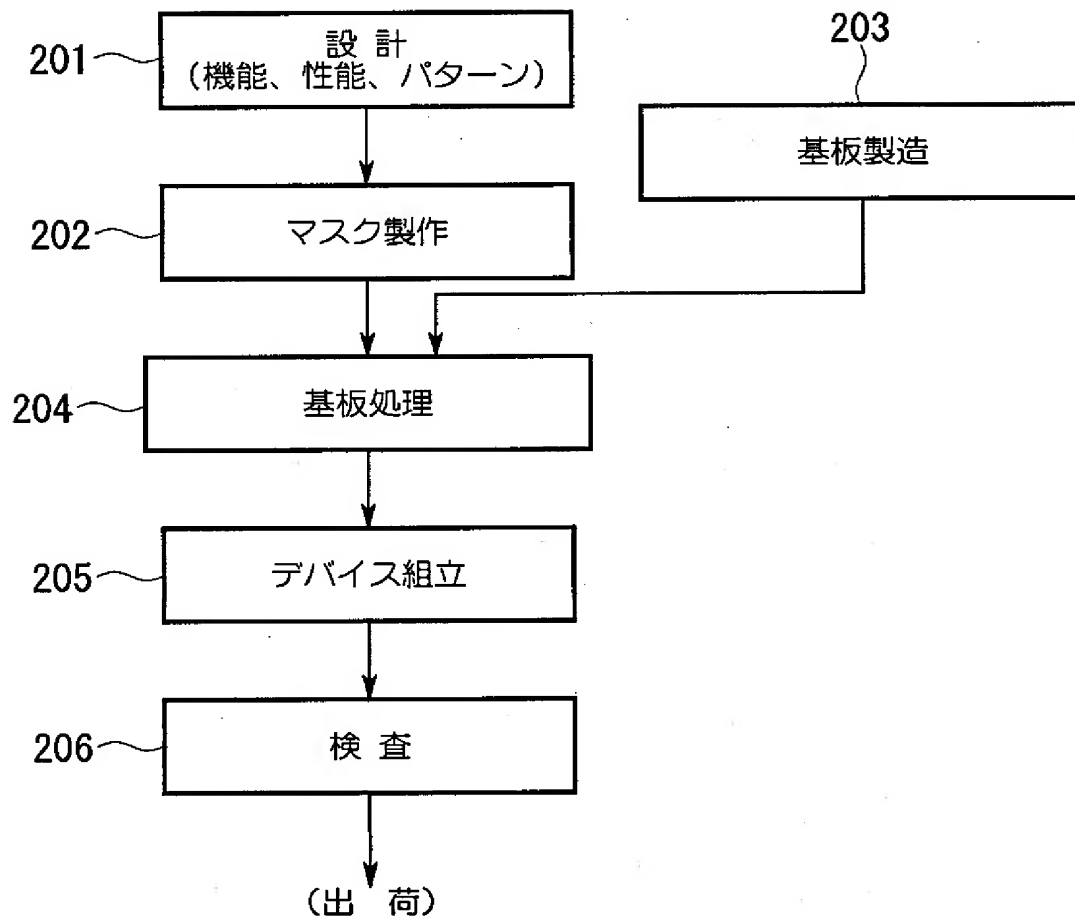
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002473

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	WO 2004/053954 A1 (Nikon Corp.), 24 June, 2004 (24.06.04), Description; pages 21 to 23; Fig. 6 & AU 2003289237 A1 & JP 2004-207710 A	1-20
P,A	WO 2004/053951 A1 (Nikon Corp.), 24 June, 2004 (24.06.04), Mode 2; Fig. 10 & AU 2003302831 A1 & JP 2005-026649 A	1-20
P,A	JP 2005-005713 A (ASML NETHERLANDS BV), 06 January, 2005 (06.01.05), Page 1; Par. No. [0042] & EP 1486827 A2 & EP 1489461 A1 & US 2005/024609 A1	1-20



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 May, 2005 (13.05.05)

Date of mailing of the international search report
31 May, 2005 (31.05.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002473

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

[illegible]

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, A	WO 2004/053954 A1 (株式会社ニコン) 2004. 06. 24 明細書第 21-23 頁、FIG. 6 & AU 2003289237 A1 & JP 2004-207710 A	1-20
P, A	WO 2004/053951 A1 (株式会社ニコン) 2004. 06. 24 第 2 実施形態、FIG. 10 & AU 2003302831 A1 & JP 2005-026649 A	1-20

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13. 05. 2005

国際調査報告の発送日

31. 5. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岩本 勉

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

2M

9355

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, A	JP 2005-005713 A (ASML NETHERLANDS BV) 2005. 01. 06 第 1 頁、[0042] & EP 1486827 A2 & EP 1489461 A1 & US 2005/024609 A1	1-20
P, A	JP 2004-247548 A (株式会社ニコン) 2004. 09. 02 第 1 頁、特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-20
E, A	WO 2005/015615 A1 (株式会社ニコン) 2005. 02. 17 第 1 頁 (ファミリーなし)	1-20
E, A	JP 2005-086030 A (キヤノン株式会社) 2005. 03. 31 第 1 頁、特許請求の範囲 & US 2005/052632 A1	1-20